CONSEIL
DES
PRODUCTIONS
VÉGÉTALES
DU QUÉBEC

CAHIER
DE
CONFÉRENCES

COLLOQUE SUR L'AGROMÉTÉOROLOGIE

Contribution de l'agrométéorologie à la gestion de la ferme

AGDEX 070

1er novembre 1988
Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

Québec

89-04664/

Cahier de conférences

COLLOQUE SUR L'AGROMÉTÉOROLOGIE

Contribution de l'agrométéorologie à la gestion de la ferme

Conseil
des
Productions
Végétales
du
Québec

Dépôt légal - 4ième trimestre
ISBN-2-551-12032-2
Bibliothèque nationale de Québec

TABLE DES MATIERES

Message du président 5
Jacques Côté

Le service de l'Environnement atmosphérique et son rôle en agrométéorologie 7
Pierre Ducharme

Prévisions météo agricoles, définitions et interprétation 13
André Sévigny

Rôle des bureaux météorologiques du SEA 27
Paul-André Renaud

Prise des données à la ferme 35
Paul Lamb

Variabilité du climat régional 45
Philippe Rochette

Les unités thermiques maïs dans la régie du maïs 61
Pierre Filion

Utilisation des prévisions météo en grandes cultures 79
Raymond Laniel

Phytoprotection des vergers 83
Michèle Roy

La météo en culture maraîchère 93
Pierre Sauriol

Message du président

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Jacques Côté
Président du colloque

Environnement Canada

Il me fait plaisir, au nom de la commission d'Agrométéorologie du CPVQ et en mon nom personnel, de vous souhaiter à tous la plus cordiale bienvenue à l'occasion de ce colloque.

Si on retourne quelques décennies en arrière, on s'aperçoit qu'à cette époque l'information météorologique était plutôt limitée et que les agriculteurs et agricultrices se trouvaient souvent impuissants à limiter les risques que pouvait leur faire subir le climat.

Aujourd'hui l'agriculture moderne réalise de plus en plus que le climat n'est pas toujours un ennemi contre lequel on ne peut rien faire mais que cette ressource de notre environnement physique peut aussi être exploitée de façon rationnelle pour le plus grand bénéfice de l'entreprise agricole.

L'intérêt grandissant des producteurs, des productrices et des agronomes pour l'agrométéorologie n'est certes pas le fruit du hasard mais bel et bien le résultat d'efforts soutenus et de collaboration de tous les intervenants. Ces dernières années en particulier, nous avons été témoins d'améliorations importantes dans les domaines de la prévision météo agricole, de la diffusion, de la recherche et de la vulgarisation.

Compte tenu du rôle déterminant du climat sur la production alimentaire, en particulier le végétal, l'information sur le climat et la météo quotidienne sont devenues des outils essentiels à la bonne gestion. C'est dans ce contexte que la commission a choisi le thème de cette journée afin d'illustrer que la météorologie agricole n'a de valeur que si elle contribue à l'amélioration de la production agricole.

La commission d'Agrométéologie veut aussi profiter de cette occasion pour souligner l'importance des échanges entre les agriculteurs, les agricultrices et les organismes de services agrométéorologiques. Dans certaines régions du pays, les producteurs et leurs fédérations se sont dotés d'un comité de services météo à la ferme pour réaliser ces échanges avec succès. Au Québec nous croyons qu'un tel groupe aurait souvent plus de succès que la commission à faire valoir le point de vue des agriculteurs auprès des agences gouvernementales et autres responsables en ce qui a trait aux besoins et services météo agricoles.

Aujourd'hui nos conférenciers feront état de deux aspects particuliers de l'information météo agricole: d'une part la production et la dissémination de l'information et, d'autre part, son utilisation à la ferme.

Ainsi nous commencerons par des exposés de spécialistes d'Environnement Canada qui nous parlerons de la prévision météo agricole et du rôle de cet organisme dans la production et la diffusion de l'information. Suivront des exposés sur l'utilité de la prise des données météo à la ferme et sur l'importance de bien comprendre et de connaître la variabilité climatique à l'intérieur de la ferme.

Cet après-midi nos conférenciers nous ferons part de cas pratiques qui illustrent comment l'information a pu être mise à profit dans diverses entreprises agricoles.

J'espère que cette journée vous apportera quelques éléments nouveaux qui permettront une meilleure compréhension et une utilisation accrue de l'information agrométéo à la ferme.

Le service de l'Environnement atmosphérique et son rôle en agrométéorologie

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Pierre Ducharme

Environnement Canada

OBJECTIFS DU SEA

1) Promouvoir par la pleine application des services météorologiques et autres services environnementaux:

   - La sécurité des individus et de leurs biens;

   - L'essor de l'économie nationale;

   - La valorisation de l'environnement;

   - L'amélioration de la qualité de vie.

2) Faire progresser les connaissances sur le comportement de l'atmosphère et de ses composantes et sur leurs interactions avec l'eau et la terre.

3) Veiller aux intérêts du Canada en matière de météorologie et des autres sciences atmosphériques.

ORGANISATION RÉGIONALE DU SEA

ACQUISITION DES DONNÉES:

- Prise de données sur le terrain et gestion de l'infrastructure requise

CENTRE MÉTÉOROLOGIQUE DU QUÉBEC:

- Production des divers bulletins de prévision
  (public, maritime, agricole, aéronautique...)

SERVICES MÉTÉOROLOGIQUES GÉNÉRAUX:

- Livraison, adaptation, consultation, interface avec les clientèles
  9 bureaux de service au Québec

SERVICES DU SEA AUX PRODUCTEURS AGRICOLES

PRODUITS

Prévisions des paramètres météorologiques affectant les activités agricoles.

Information météorologique et climatologique requise par le MAPAQ pour calcul ou développement d'indices phénologiques ou autres.

LIVRAISON

Livraison sans frais des prévisions agrométéorologiques via les moyens de communication de masse: radio, télévision, radiométéo Canada, Journeaux.

Livraison des prévisions agrométéorologiques via répondeurs automatiques commandités par des COOP ou autres dans la mesure où la charge de travail des bureaux de service le permet.

Le personnel des bureaux du SEA offre un service de consultation téléphonique sur le contenu des prévisions à tous ceux qui veulent s'en prémunir et dans la mesure ou les lignes téléphoniques sont libres et notre personnel est disponible.

Livraison sans frais des prévisions agrométéorologiques par courrier électronique aux bureaux du MAPAQ pour information des conseillers et relais aux producteurs agricoles.

FORMATION

La formation des producteurs agricoles dans le domaine de la météorologie n'est pas un objectif du SEA.

Par contre le SEA profite des occasions qui se présentent (conférences, consultations avec les usagers, articles) pour informer les producteurs agricoles sur les services météorologiques mis à leur disposition et sur l'utilisation qui peut être faite des bulletins de prévisions météorologiques.

PERSPECTIVES DE COLLABORATION MAPAQ - SEA

Collaboration dans l'établissement et l'opération d'un réseau élargi de RADIOMÉTÉO pour diffuser rapidement les prévisions météo et les bulletins phytosanitaires (pourparlers en cours).

Élargissement de la collaboration du SEA en matière de diffusion des bulletins phytosanitaires à d'autres secteurs que celui du mildiou et de la pyrale du maïs.

Collaboration SEA - MAPAQ en matière d'évaluation de l'utilité des bulletins météo et de l'identification des besoins des divers secteurs d'activités agricoles.

Participation du SEA à des rencontres des conseillers agricoles du MAPAQ et des producteurs agricoles pour préciser les besoins et l'utilité des services météo et informer sur l'utilisation qui peut être faite des bulletins de prévision et leur fiabilité.

Prévisions météo agricoles, définitions et interprétation

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

André Sévigny

Environnement Canada

LA PRÉVISION MÉTÉO AGRICOLE: (comme les légumes, une denrée périssable)

1. INTRODUCTION:

Bien rares sont ceux qui dès le matin ne jettent pas un regard vers le ciel pour apprécier le temps qu'il fait tout en se remémorant vaguement le bulletin de prévision météorologique transmis la veille par la radio ou la télévision. C'est ainsi que tous les jours des millions de "Monsieur tout le monde" exigent et se préoccupent du temps qu'il fera, ne serait-ce que pour connaître la facon de se vêtir ou encore de planifier une activité extérieure.

Il ne fait aucun doute que l'agriculteur du Québec, comme partout dans le monde, a une préoccupation accrue des conditions climatiques, car une connaissance anticipée des principaux phénomènes météorologiques aura un impact important sur le rendement de ses cultures et par conséquent sur ses bénéfices éventuels. Ainsi, une utilisation optimale de la prévision météo agricole (PMA) sera un atout précieux pour une saine gestion de la ferme.

Les services météorologiques ont à coeur de remplir leur mission auprès du grand public et également auprès d'usagers spécialisés. La météorologie d'aujourd'hui est loin des divinations hazardeuses, des incantations et des grenouilles mythiques. C'est une science moderne en plein développement et un secteur de pointe, parmi les sciences de la Terre. Le Centre météorologique du Québec (CMQ) d'Environnement Canada est l'organisme responsable des prévisions météorologiques, dont la prévision météo agricole, pour l'ensemble du Québec. Situé à Ville Saint-Laurent, en banlieue de Montréal, c'est l'un des neufs centres régionaux de prévisions du pays d'Environnement Canada.

Le Centre météorologique du Québec fonctionne vingt-quatre heures par jour, trois cent soixante et cinq jours par année. Les équipes de météorologistes et de techniciens qui y travaillent préparent et distribuent une multitude de renseignements météorologiques pour le public, les agriculteurs, les pêcheurs, les compagnies aériennes, les plaisanciers et les travailleurs forestiers. Le Centre opère également un programme de surveillance de conditions météorologiques pouvant menacer la sécurité et le bien-être et émet des veilles et alertes météorologiques en cas de temps violent.

2. LES RÉGIONS DE PRÉVISIONS PUBLIQUES vs RÉGIONS AGRICOLES

La province de Québec a été divisée en vingt régions de prévisions publiques couvrant les secteurs les plus populeux et industrialisés (voir carte "Région de prévisions publiques"). Depuis environ quinze ans, des prévisions spéciales pour les agriculteurs sont faites et couvrent maintenant dix zones de prévisions météo agricoles pour le Québec:

Lac St-Jean
Saguenay
Charlevoix/Rivière-du-Loup
Rimouski/Matapédia
Abitibi/Témiscamingue
Ottawa/Hull/Cornwall
Montréal
Trois-Rivières/Drummondville
Québec
Estrie/Beauce

Un réseau d'observations agrométéorologiques de cent sept (107) stations (voir carte Agro) mesure quotidiennement durant la période de croissance certains paramètres météorologiques tels que les températures maximales et minimales, ainsi que l'accumulation de pluie depuis les dernières vingt-quatre heures. Ces paramètres servent à la planification des prévisions agricoles, telles que les risques de gel et les probabilités de précipitations, et sont également utilisés comme données climatologiques dans le calcul de certains indices agrométéorologiques.

3. PRÉVISIONS MÉTÉO AGRICOLES vs PRÉVISIONS PUBLIQUES

3.1 Les paramètres de la prévision météo météo agricole

La prévision agricole d'Environnement Canada a été spécialement conçue pour permettre une meilleure planification des activités de la ferme sur une période de cinq jours. En plus des informations générales contenues dans le bulletin de prévisions publiques

- état du ciel
- les précipitations
- la température maximale
- la température minimale

la prévision agricole inclut pour les deux premières journées des paramètres météorologiques pertinents aux diverses activités culturales:

L'indice d'assèchement:

Mesure la rapidité à laquelle les fourrages sèchent dans les champs ou encore la capacité de l'air d'absorber l'humidité d'une surface mouillée. Développé empiriquement par Agriculture Canada, cet indice mesure la contribution de l'évaporation latente en centimètre cube d'eau par jour due, entre autres, aux vents, aux températures, à l'ensoleillement, à l'humidité de l'air, etc. Cet indice aide à la planification, à savoir quand engranger les fourrages, et aide à connaître le bilan hydrique du sol aux fins d'irrigation.

La probabilité de pluie de plus de 5 mm:

Mesure de la probabilité d'avoir des quantités significatives de pluie durant une période donnée. Le paramètre aide à la planification des travaux dans les champs, aide à gérer l'irrigation des cultures, la fertilisation des sols et l'action des fertilisants et l'application de certains pesticides.

Le nombre d'heures d'ensoleillement:

Extrait de la terminologie des prévisions publiques, mais adapté au territoire agricole, ce paramètre fournit des informations sur la croissance des plantes (stade de maturité), sur la protection requise pour certaines cultures. Il aide également à la planification des arrosages et de la ventilation des serres comme pour les applications des pesticides et des fongicides.

La vitesse (km/h) et la direction des vents dominants:

Sans tenir compte de tous les effets locaux, ce paramètre fournit une indication de la direction et de la vitesse des vents au cours de la période. On peut utiliser cet élément pour planifier les arrosages de pesticides, de fongicides ou de fertilisant sur les cultures. De même, la vitesse des vents indiquera certaines actions à prendre pour les plantes sensibles. Finalement, ce paramètre fournit une estimation du potentiel d'érosion des sols par temps sec.

La température maximale et minimale:

La température maximale et minimale qui est contenue dans la prévision publique sert à signaler aux agriculteurs toute menace de gel en période de croissance. Une température maximale trop élevée peut causer des dommages aux plantes sensibles ou exiger une ventilation accrue des serres. Certains engrais ou pesticides réagissent mal aux températures extrêmes. Les températures sont également utilisées pour établir les degrés-jours de croissance, ce qui est lié au développement des insectes ou de certaines maladies comme aux stades de maturité des cultures.

3.2 **Les heures de diffusion:**

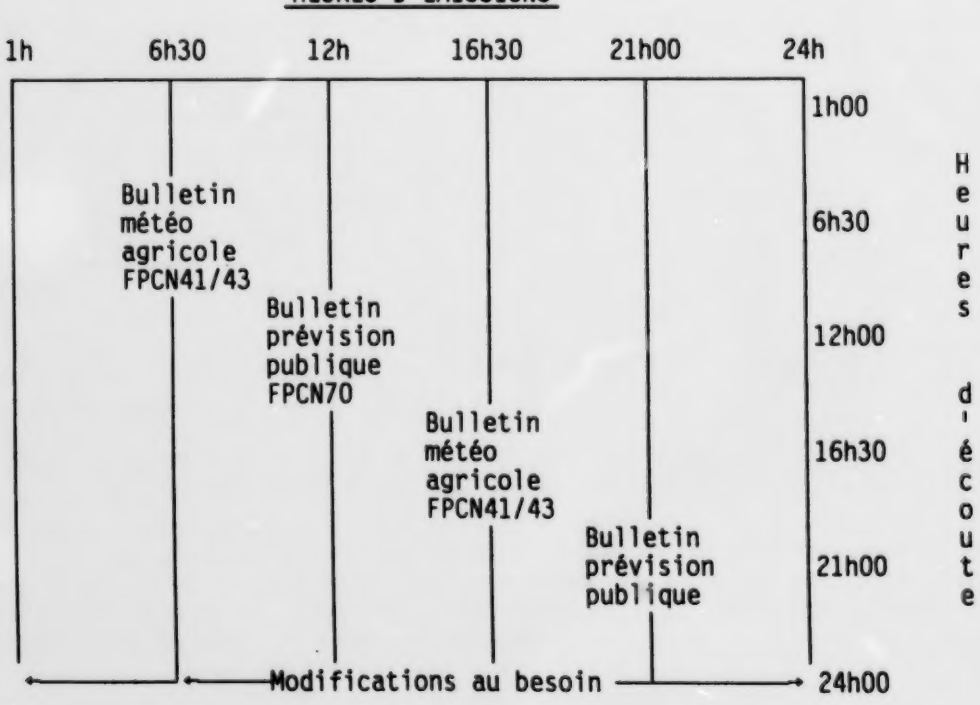
La prévision agricole complète est émise deux fois par jour aux heures suivantes: FPCN41/43

06h30 16h30 HL

La prévision du mation (06h30) coïncide avec le début des activités agricoles et se préoccupe des conditions détaillées pour aujourd'hui et demain, ainsi qu'un aperçu pour les jours à venir.

La prévision d'après-midi de 16h30 est davantage axée sur la nuit prochaine, le lendemain et précise davantage le scénario météorologique pour le Jour 3. Les aperçus pour les Jours 4 et 5 ont été retravaillés à la lumière des dernières observations disponibles aux modèles numériques (simulateurs de l'atmosphère).

Dans l'intervale qui s'écoule entre ces deux bulletins, des modifications peuvent survenir dès que les spécialistes constatent que le scénario météo a évolué. De même, le Centre de prévisions émet des mises à jour aux prévisions publiques à 12h00 et 21h00 à partir desquelles on peut évaluer l'évolution ou le changement dans les conditions météorologiques. Ainsi pour une utilisation optimale des prévisions d'Environnement Canada, le cultiviateur devrait consulter les bulletins suivants:



4. COMMENT PRÉPARE-T-ON LA PRÉVISION MÉTÉO AGRICOLE?

4.1 Outils de travail:

Avant de se prononcer sur le temps qu'il fera, le météorologiste doit s'astreindre au processus exigeant que demande l'analyse de l'atmosphère à la grandeur de l'hémisphère nord. Dans un premier temps, le météorologiste fera une analyse des champs de pression et des systèmes météorologiques en surface grâce à un réseau de stations d'observations (réseau de surface). Des observations codées (des couches nuageuses, des températures, de l'humidité, de la pression atmosphérique, des vents, etc.) se font au moyen d'un système mondial de communication ultra-rapide. Elles sont pointées sur des cartes à toutes les trois heures, ce qui permet de suivre l'évolution des systèmes météorologiques qui s'approchent de notre région d'intérêt et d'en déduire les mouvements récents des dépressions et des anticyclones et le déplacement des masses d'air qui les accompagnent (carte de surface analysée). Ensuite, des cartes analogues à celles pointées en surface sont produites grâce à un réseau d'observations aérologiques. Deux fois par jour à 12h TU et 00h TU (temps moyen du méridien de Greenwich), des radiosondes attachées à des ballons gonflés d'hydrogène s'élèvent dans l'atmosphère jusqu'à environ 60 km (réseau altitude et ballons-sonde) et recueillent des observations permettant de déduire la structure verticale des systèmes météorologiques, l'épaisseur des nuages, la stabilité de l'air, le cisaillement du vent. L'analyse de ces cartes de surface et d'altitude permet aux météorologistes d'avoir une vue tridimensionnelle de l'atmosphère. Depuis l'avènement des satellites météorologiques (1960), on peut compléter ces réseaux d'observations grâce aux images dans les spectres visibles et infra-rouges prises par des satellites météorologiques géostationnaires et circumpolaires (satellites météo). Situé à 35 000 km d'altitude, le satellite géostationnaire GOES- EST recueille à toutes les trente minutes des observations qui permettent de suivre d'heure en heure l'évolution des systèmes météo et des masses nuageuses qui les accompagnent. D'autres satellites (NOAA) gravitent à 650 km sur des orbites traversant les deux pôles et fournissent à leur tour des informations précises sur la structure, la hauteur et le type des nuages (photo NOAA). Finalement, le météorologiste complètera son analyse grâce à un réseau de radars météorologiques d'une portée de 360 km et situés près de Ottawa, Montréal et Québec. Ces radars permettent d'observer les précipitations produites par les nuages et sont un atout précieux pour les prévisions à court terme et pour la détection du temps violent.

4.2 Méthode de prévision:

Parler de prévision météorologique et envisager son évolution future nécessite d'abord de faire un retour sur le passé. Le météorologiste-prévisionniste doit d'abord étudier toutes les cartes et diagrammes qui lui sont transmis. À cette image de la situation présente et historique, le météorologiste cherchera à connaître les différents mécanismes responsables de conditions particulières. Qu'il identifie certains contrastes thermiques, des orientations particulières du courant jet, ou encore l'instabilité marquée de la masse d'air, ne sont là que quelques-uns des facteurs qui déterminent l'intensification d'une dépression, sa direction future ou les mécanismes de formation ou de dissipation des nuages. Cette analyse prospective de l'atmosphère lui permettra de faire un jugement plus éclairé sur les modèles numériques (simulateur de l'atmosphère) qu'il consultera dans un deuxième temps. L'avènement des ordinateurs a permis de mettre à la disposition des météorologistes des modèles de simulation de l'atmosphère qui quantifient pour lui les facteurs de développement identifiés dans son analyse prospective. Les modèles intègrent les observations de surface, d'altitude, ainsi que certaines données dérivées d'observations satellitaires et simulent l'évolution de l'atmosphère jusqu'à cent vingt (120) heures (5 jours à l'avance. Ces modèles sont une réussite scientifique et technique et s'améliorent constamment. Cependant, ils ont leurs limites et ne peuvent simuler parfaitement avec la résolution souhaitée les multiples degrés de libertés que possède ce laboratoire naturel, l'atmosphère.

Guidé par son analyse, sa connaissance des points forts et faibles des modèles, et son expérience opérationnelle, le météorologiste viendra doser et ajuster le scénario météorologique à un niveau plus réel. Il devra, par la suite, déduire de son étude les éléments du temps en des termes compatibles avec les différents services des usagers, tels les agriculteurs. Certains de ces éléments, tels que les probabilités de précipitations peuvent être déduits directement des modèles numériques par des méthodes statistiques qui remédient à l'insuffisance des modèles. L'approche subjective des prévisionnistes est un peu similaire mais elle a de plus l'avantage de suivre continuellement l'évolution du temps à toutes les heures, alors que les prévisions numériques ne se font encore qu'à intervalles fixes et elles perçoivent presqu'essentiellement des phénomènes à grande échelle.

Concrètement, dans le bureau de prévisions, le météorologiste remplira des formulaires (formules AGRO) sur lesquels différents paramètres météorologiques devront être définis. Les prévisions de l'indice d'assèchement, du nombre d'heures d'ensoleillement, des probabilités de précipitations de 5 mm et plus et des vents pour chaque région de prévision seront extraites et constitueront le bulletin de prévision météo agricole.

5. COMMENT TIRER AVANTAGE DES PRÉVISIONS AGRICOLES?

5.1 La signification et l'interprétation des éléments de la prévision:

L'échelle prévisionnelle:

Il serait faux de prétendre que le bulletin agricole actuel répond entièrement aux besoins des agriculteurs. Cependant, il devrait évoluer en fonction des besoins exprimés et selon les améliorations scientifiques et techniques en météorologie.

Ainsi, les éléments prévus dans le bulletin agricole sont tributaires des systèmes météorologiques en cause et des masses d'air, mais également des échéances souhaitées et du type d'application. Malgré l'apparente unité du problème à traiter, on regroupe les prévisions en quatre grandes catégories.

Les prévisions immédiates (0 à 6 heures) où il importe de décrire, le plus précisément possible l'état de l'atmosphère autour d'un lieu précis et de bien localiser des phénomènes tels des orages, des averses, du brouillard, etc. Le météorologiste dispose alors de radars météorologiques et de photos satellitaires qui lui donneront à court terme la signature des événements actuellement présents ou prévisibles. Les bureaux météorologiques jouent un rôle important pour adapter la prévision selon les besoins du cultivateur.

On retrouve ensuite la prévision à courte échéance (6 à 72 heures). Cette prévision concerne des phénomènes dont la dimension varie entre quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres (méso-échelle et échelle synoptique). On s'intéresse ici à de vastes zones de pluie ou encore à des lignes d'averses ou d'orages qui accompagnent les fronts froids. Les outils de détection à court terme, tels les radars et les photos satellitaires, ont encore ici une certaine utilité, mais déjà on doit se fier, à mesure que l'échéance croît, aux tendances générales des modèles et aux diagnostics météorologiques. On aboutit ainsi aux prévisions à moyen terme (trois à cinq jours) où il s'agit de prévoir de façon très générale et sur un vaste territoire des vagues de froid ou la persistance du temps pluvieux, ou encore les tendances générales de la circulation atmosphérique. Les modèles numériques sont ici les seuls guides prévisionnels. Le rôle du météorologiste consiste à détecter les changements dans l'évolution des modèles et de relier ceci à la prévision précédente pour assurer une certaine continuité. L'utilisation des ordinateurs pour composer ce type de prévisions nous a forcés à rédiger des prévisions qui sont encore très catégoriques. L'agriculteur devrait consulter ces prévisions dans une perspective très générale en terme de tendance à l'amélioration ou à la détérioration ou encore en terme de changements significatifs vers le début ou la fin de la période.

Certains paramètres de prévisions sont beaucoup plus fiables que d'autres, par exemple les températures vs les précipitations.

Exemple: Quelques averses au quatrième jour pourraient très bien se produire six à 12 heures plus tôt ou plus tard.

Finalement, il existe des prévisions à long terme (une semaine à un mois). Il s'agit à ce moment de prévoir des anomalies par rapport à la situation moyenne climatique. Seuls des modèles climatiques peuvent générer de tels produits et la plupart des météorologistes s'accordent à dire que ce genre de prévision démontre peu ou pas d'habileté et ne peut vraiment servir à la planification des travaux agricoles. Les prévisions des almanachs ne sont-elles pas un merveilleux sujet pour nourrir une conversation amicale.

5.2 Savoir interpréter la terminologie:

Le style de bulletin présente aussi certaines limites car le vocabulaire est restreint et les termes utilisés sont sujets à interprétation variée. Combien de fois n'a-t-on pas entendu: "Ils annoncent de la pluie aujourd'hui alors que la prévision mentionne des averses dispersées avec une probabilité de 30%". On s'attardera ici à la prévision des précipitations qui est un des paramètres les plus significatifs pour les agriculteurs.

Les précipitations se manifestent sous différents types (pluie, neige, pluie verglaçante, grêle, etc.). En plus, elles peuvent varier en intensité, en quantité et en durée dans une région visée par la prévision. Pour décrire ces variations, le météorologiste utilise différents termes et qualificatifs pour clarifier sa prévision. Par exemple, on utilise pluie pour décrire une vaste zone de pluie continue associée à un système météorologique qui affectera une région durant une longue période. Ce sont habituellement des précipitations généralisées et normalement les probabilités de précipitations sont supérieures à 80%. Les averses dispersées sont généralement produites par des nuages convectifs. Ces précipitations, par le qualificatif, seront très isolées et de courte durée. Ainsi, seuls quelques endroits pourront être affectés. Les probabilités d'être touchés par ces précipitations sont faibles, entre 20 et 40%. Souvent le météorologiste précisera sa pensée en indiquant que ces précipitations se produiront surtout sur les secteurs montagneux ou encore en fin de journée (16 à 21 h). Le passage de fronts froids actifs durant l'été s'accompagne souvent de bandes organisées d'averses ou d'orages. La prévision pourrait décrire la situation ainsi: quelques averses ou orages. On est devant une situation où la plus grande partie de la région sera balayée par des précipitations qui varieront en intensité (averses ou orages), mais de courte durée. Dans ces cas, les probabilités s'étalent entre 50 et 80% selon l'organisation des bandes de précipitations et la superficie couverte par le passage du front froid.

Finalement, il arrive que le passage d'un système météorologique s'accompagne de bandes de précipitations ayant une grande variabilité spaciale et temporelle. Dans de tels cas, on dira "pluie passagère ou intermittente" pour indiquer que les précipitations seront par intervalles plus ou moins longs. Ainsi, il peut arriver qu'une partie du territoire soit épargnée par les précipitations et normalement cette terminologie commande des probabilités assez élevées de 60 à 90%.

5.3 Les probabilités de précipitations:

Depuis déjà quelques années, le prévisionniste fait appel à différentes techniques statistiques pour préciser davantage le risque de précipitations en termes de probabilités.

Depuis deux ans, à la demande des agriculteurs et agronomes, nous prévoyons les probabilités d'une quantité significative de pluie de 5 mm et plus. La probabilité de précipitations se définit comme le pourcentage de chance d'obtenir des précipitations (mesurables >0.2 mm ou 5 mm) en un point donné d'une région de prévision. Ainsi, une probabilité de 20% indique qu'il y a 20% de chance qu'il pleuve, donc 80% qu'il ne pleuve pas, ou encore quatre chances contre une qu'il ne pleuve pas. Pour le météorologiste qui compose la prévision, cette définition de la probabilité est présente dans son esprit, mais il doit également tenir compte de la distribution spaciale des précipitations associées aux systèmes météorologiques en cause, de la durée des précipitations dans le temps et finalement de l'incertitude ou encore du degré de confiance qu'il possède vis-à-vis la réalisation d'un événement à court terme, moyen terme et même long terme. C'est ce qu'on peut appeler l'incertitude météorologique.

Nous compilons depuis plusieurs années des vérifications sur les probabilités de précipitations. Les deux graphiques qui suivent montrent notre fiabilité à prévoir, pour une prévision de 12 à 24 heures, les différentes classes de probabilité. La fiabilité parfaite serait de prévoir chacune des classes de probabilité à la même fréquence qu'elle est observée. Exemple, la classe de 40% de probabilités devrait être observée à 40%. Pour les probabilités avec un seuil de 0.2 mm, chacune des classes prévues est observée à peu de choses près à la même fréquence (fig. - Fiabilité - seuil: 0.2 mm). Par contre, les résultats de 1987 pour les probabilités de précipitations avec un seuil de 5 mm ou plus, indiquent que le bureau a surprévu la plupart des classes; ce qui démontre que la fiabilité des prévisions des quantités significatives de pluie n'est pas très bonne. Il faut dire que ces résultats coïncident avec le début du programme

de prévisions de probabilités de 5 mm. Il semblerait que les prévisionnistes auraient surestimé les quantités de pluie qui accompagnent les systèmes. Je ne possède pas encore les résultats de cette saison, mais nous avions fait certaines recommandations dans notre approche prévisionnelle pour tenter de corriger ce biais.

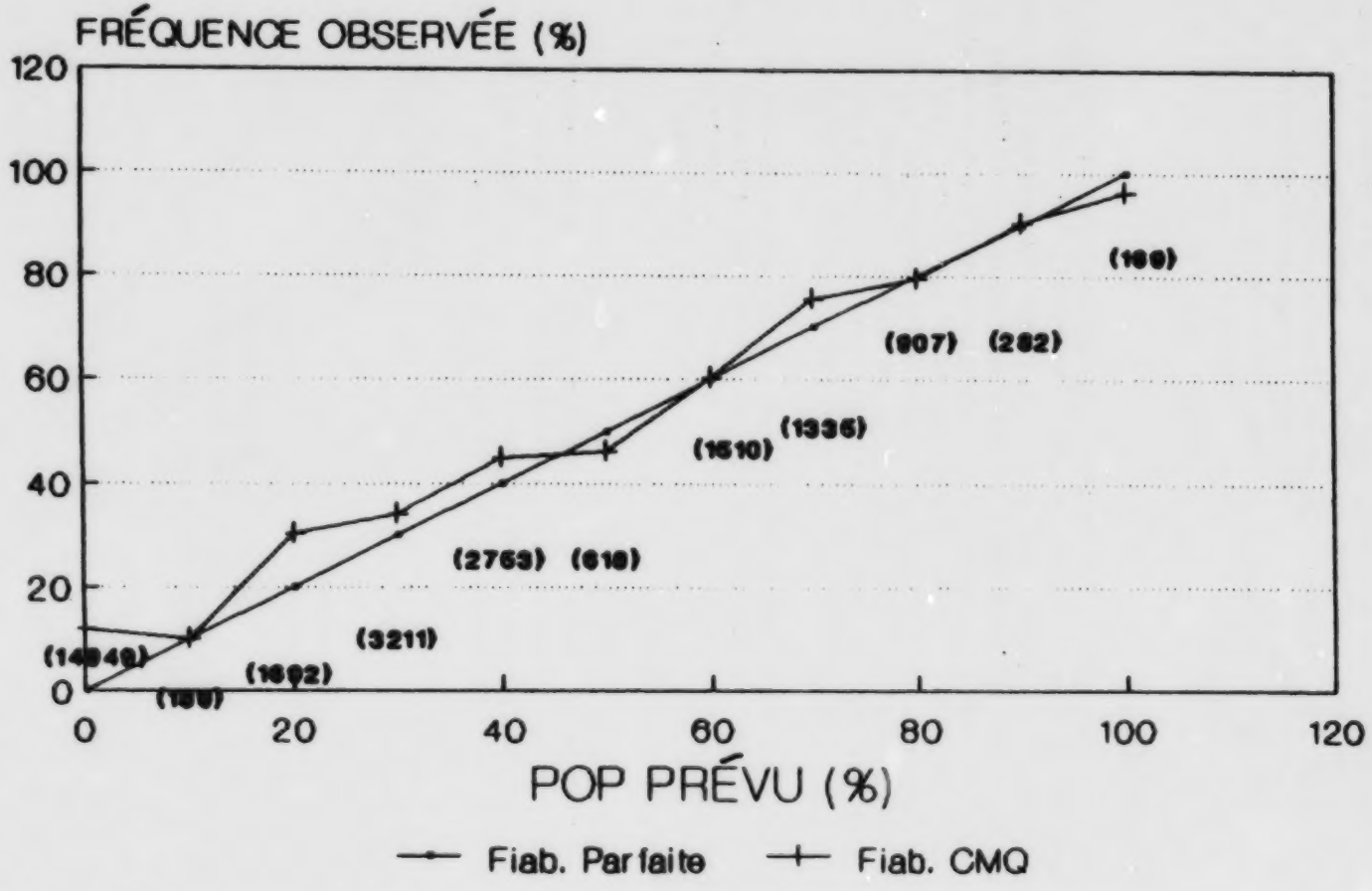
6. CONCLUSION

L'utilité des prévisions dépend bien sûr de leur exactitude, mais également de la compréhension et de l'interprétation faite par les usagers. Les prévisions météorologiques sont comme les légumes: une denrée périssable. Les systèmes météorologiques évoluent constamment et il serait illusoire, pour un agriculteur, ayant en main une prévision pour cinq jours, de croire qu'il possède un outil de planification à long terme. Les services météorologiques opèrent vingt-quatre heures par jour et trois cent soixante et cinq jours par année justement pour suivre l'évolution du temps et mettre continuellement à jour les bulletins de prévisions de façon à fournir sur le marché des produits toujours frais.

Malgré les équipements sophistiqués et des observations de toutes sortes dont dispose le météorologiste sa vision des phénomènes atmosphériques demeure encore aujourd'hui assez globale et le nombre limité d'informations à l'échelle locale ne lui permet pas d'évaluer la situation avec beaucoup de détails.

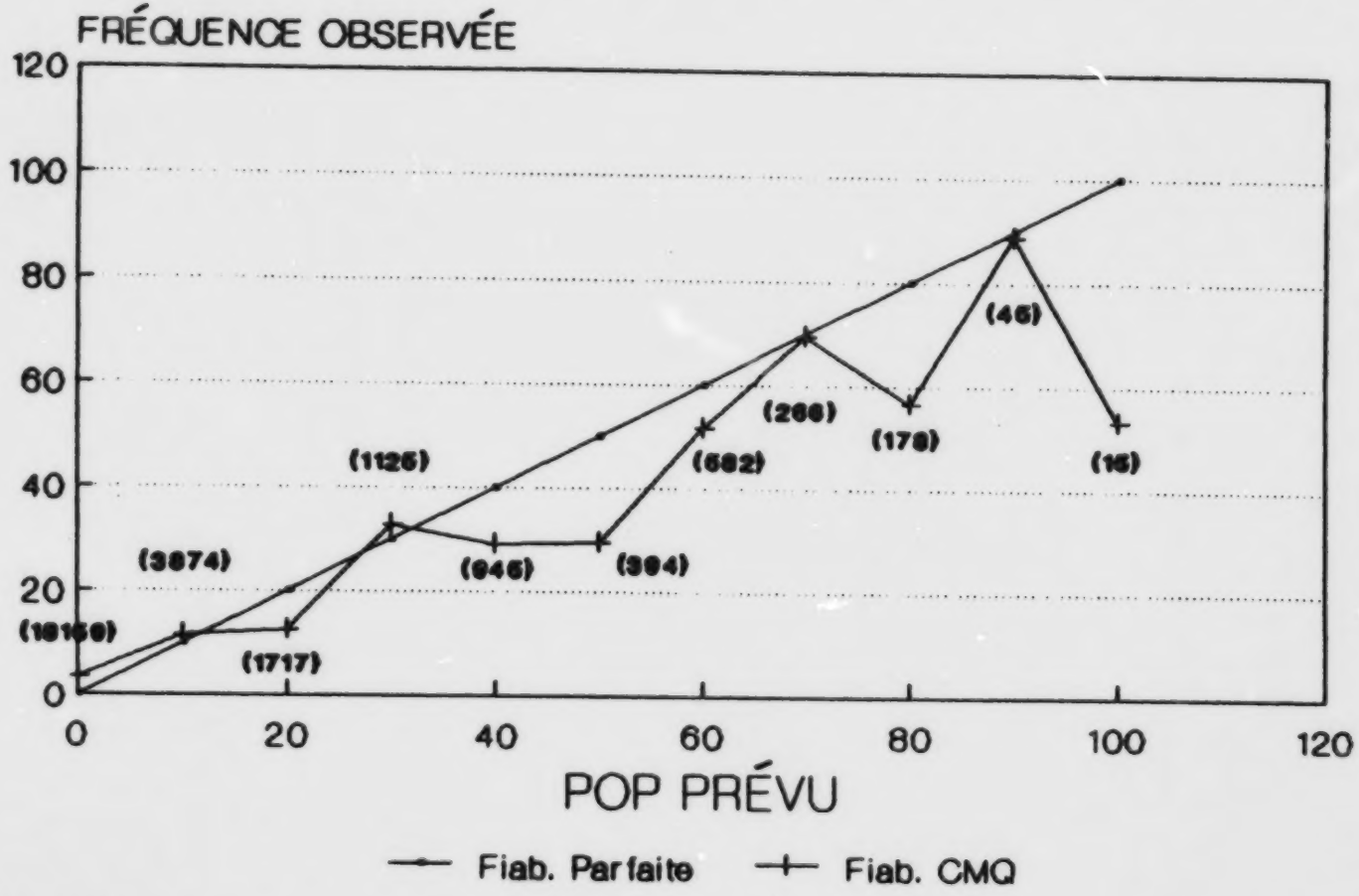
L'agriculteur quant à lui entrevoit l'atmosphère d'un point fixe et son observation se limite aux phénomènes locaux, ce qui représente une faible partie de la situation atmosphérique. Cependant, par son observation et sa connaissance de son environnement, il sera mieux en mesure d'adapter la prévision régionale à sa localité et à ses besoins.

FIABILITÉ - SEUIL: 0.2 MM
TOUTES STNS. ET PRÉV. (PER. 12-24H)



(--): No. de Cas

FIABILITÉ - SEUIL: 5 MM
TOUTES STNS. ET PRÉV. (PER. 12-24 H.)



(—): No. de Cas

Rôle des bureaux météorologiques du SEA

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Paul-André Renaud

Environnement Canada

LES BUREAUX METEOROLOGIQUES

1.0 Leur rôle

Le bureau météorologique dans l'organisation du Service de l'environnement atmosphérique joue un rôle comparable à celui d'un point de vente pour une manufacture de produits.

Le bureau météo, c'est donc le point de contact, ou si l'on veut, l'interface entre l'organisation du SEA et les différents usagers des services météorologiques.
A part les média qui sont reliés par fil de presse au Centre météorologique du Québec et qui obtiennent ainsi, directement, les prévisions du temps, tous les autres usagers, et même très souvent les média, ont recours aux bureaux météorologiques pour obtenir l'information qu'ils désirent.

La mission du bureau météo est simple.
il doit répondre à toute demande qui touche la météorologie, de façon efficace et satisfaisante pour l'usager.

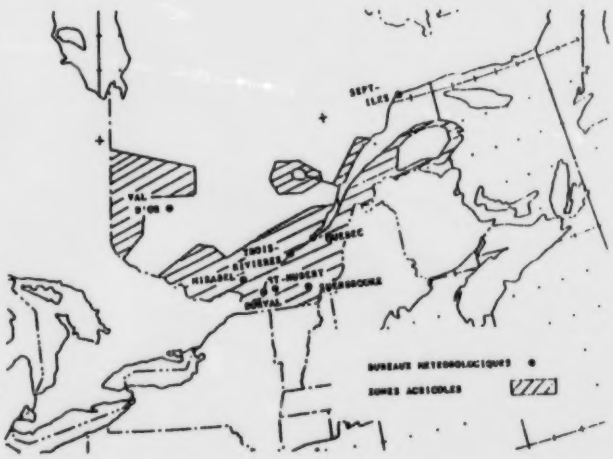
1.1 Leur clientèle

La clientèle d'un bureau météorologique est très variée. Il s'agit de gens travaillant dans des domaines aussi différents que:

- . l'aviation
- . l'agriculture et la forestrie
- . la marine et les pêches
- . la construction
- . la voirie
- . le déneigement
- . les loisirs
- . le tourisme
- . la cour de justice
- . l'expertise en sinistres
- . le génie civil

C'est facile à comprendre quand on sait que finalement, le temps à un impact sur les activités extérieures de tout le monde.
Pour satisfaire cette clientèle, il y a huit bureaux météorologiques au Québec (carte no. 1).
Ils sont situés à Val d'Or, Sept-Iles, Mirabel, Dorval, Trois-Rivières, St-Hubert, Sherbrooke et Québec.

Ce qui saute aux yeux,évidemment, c'est, le regroupement géographique de six des huit bureaux dans un cercle d'à peu près 100 km de rayon.
Une répartition qui colle avec la concentration géographique de la population et des moyens de transport.

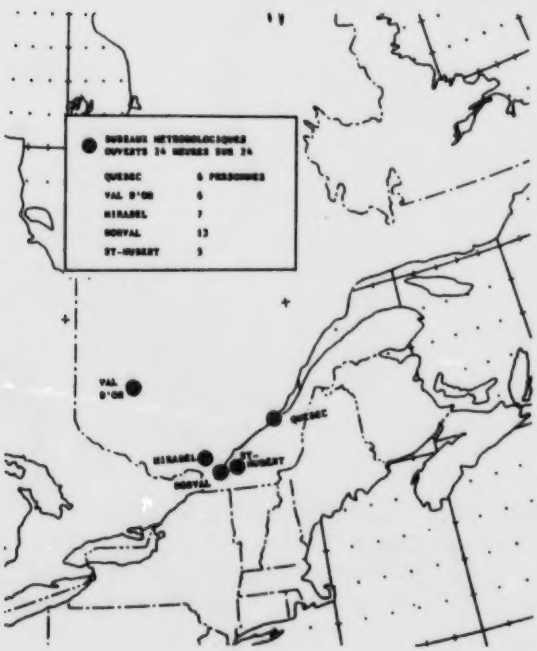


carte no. 1

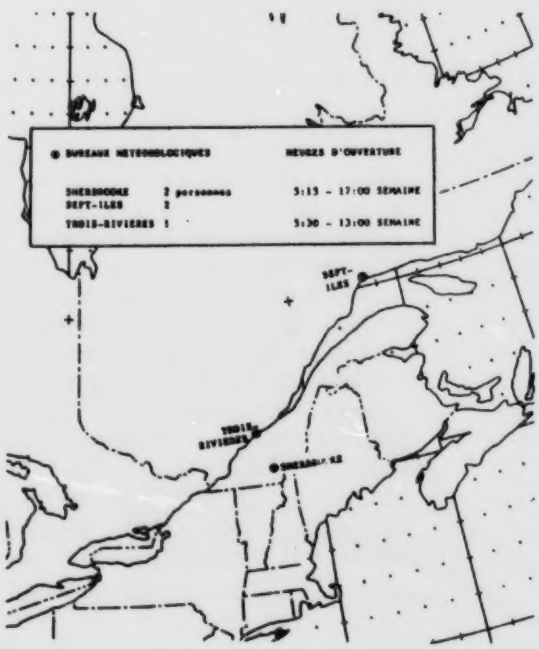
Il faut se rappeler que le service météorologique a été créé pour satisfaire d'abord les besoins de sécurité maritime et que s'il s'est développé grandement par la suite, c'est grâce aux besoins des transports aériens.
Géographiquement, les bureaux météos ne couvrent donc pas toutes les régions agricoles de la province. Mais leur concentration correspond quand même à la zone de plus forte production agricole.

1.2 A quoi ressemble un bureau météorologique?

A part, Trois-Rivières et Sherbrooke, ils sont tous situés sur les terrains d'un aéroport.
Les cinq plus importants, Mirabel, Val d'Or, St-Hubert, Dorval et Québec, sont ouverts 24 heures sur 24, à l'année longue. Ils sont opérés par des équipes de quelques personnes en rotation sur des quarts de travail.
Les effectifs des différents bureaux apparaissent sur les cartes no.2 et no. 3.
Le technicien en devoir remplis plusieurs tâches. D'abord, il observe les conditions météorologiques à chaque heure et plus fréquemment si le temps change rapidement. Il transmet ces observations à tous les usagers du système de communication météorologique du SEA.
Il assure une veille continue du temps, et pour ce faire, il relève périodiquement les données d'une série d'instruments à partir du thermomètre jusqu'au télémètre de plafond. Il surveille l'écran radar, analyse les sondages atmosphériques, les cartes de surfaces et les cartes de changements de pression à certaines altitudes.
Tout au long de cette surveillance du temps, que l'on appelle chez nous: la veille météorologique, le personnel du bureau météo répond



carte no. 2



carte no. 3

aux diverses demandes de la clientèle.
Ces demandes, on peut les classer en deux catégories: celles qui concernent la prévision du temps, et celles qui s'informent sur le temps passé.
En 1987, nos répondeurs automatiques donnant de l'information générale pour le public ou spécialisée pour l'aviation, l'agriculture, la voirie et le tourisme, ont répondu à près de 8 millions d'appels au Québec. En personne ou par téléphone, nous avons répondu à 400,000 demandes.

2.0 Les services à la clientèle agricole

Si on regarde maintenant nos activités strictement agricole, il est évident que notre rôle le plus visible consiste à diffuser le prévision spécialisée pour l'agriculture.
Et pour la diffuser nous utilisons tous les moyens de diffusion à notre portée. Soit directement du bureau météorologique, soit par un réseau de répondeurs automatiques, soit par Radiométéo-Canada, soit par les postes de radio.

2.1 Via les bureaux météorologiques

C'est l'endroit idéal pour obtenir l'information météorologique que l'on désire. On y a accès au personnel qui assure la veille météorologique et qui est à la source, la plupart du temps, de toute l'information météo qui circule sur les ondes et les répondeurs.
On peut dialoguer avec un interlocuteur et faire préciser les aspects de la météo qui nous intéressent.
Sur place, on peut consulter les différents atlas, la banque de données météorologiques et obtenir une opinion sur tout ce qui touche la météorologie.

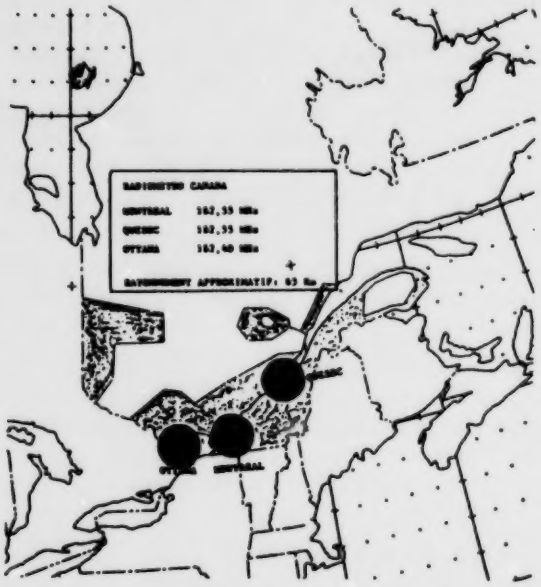
2.2 Via les répondeurs automatiques

Nous opérons un réseau de répondeurs automatiques qui dessert plusieurs régions de la vallée du St-Laurent, de l'Estrie, de la Beauce et du Lac St-Jean. Ces répondeurs sont installés à Alma, Drummondville, Joliette, La Pocatière, Louiseville, Mirabel, Québec, Ste-Marie de Beauce, Sherbrooke, Trois-Rivières et Victoriaville. (Carte no. 4)
Les numéros de téléphones sont publiés chaque année dans les bulletins de l'UPA et les revues agricoles comme Terre de chez nous et le Bulletin des agriculteurs.

carte no. 4

C'est un système avantageux parce que n'importe quand, sur simple appel, on obtient une prévision agricole détaillée et certains avertissements phytosanitaires.
Les bulletins sont renouvellés au moins 2 fois par jour et plus fréquemment si les changements de la météo l'exigent.
Un inconvénient sérieux, c'est l'achalandage aux heures de pointe. Comme il n'y a qu'une ligne d'accès au message, rarement deux, les délais avant d'obtenir la communication sont parfois longs.

Les bureaux météorologiques, chaque année, doivent trouver des commanditaires pour financer les coûts de lignes téléphoniques reliés aux répondeurs de leurs zones de responsabilité.



carte no. 5

2.3 Via Radiométéo-Canada

Radiométéo-Canada, c'est trois antennes localisées à Ottawa, Montréal et Québec et qui transmettent uniquement des informations météorologiques sur la bande THF-MF. Pour capter ces émissions, il faut un récepteur spécial à cristal (piézo-électrique). Les récepteurs ordinaires MA ou MF ne captent pas la fréquence de Radiométéo-Canada.

Avec un bon appareil on entend clairement dans un rayon de près de 65 km (carte no.5). Mais comme les ondes THF se propagent en lignes droites, la réception sera moins bonne près des collines et autres obstacles locaux.

Autrement, si on reçoit sans problème le signal THF, le seul inconvénient reste alors le prix d'acquisition du récepteur.
L'avantage de ce moyen de diffusion est manifeste. Tout le monde à l'écoute obtient l'information en même temps.
De plus, la prévision agricole est diffusée fréquemment, à toutes les cinq ou huit minutes selon l'antenne. La prévision est constamment ajustée. On bénéficie, en prime, comme usager, de la réception de toutes les veilles et alertes météorologiques. Et ce, dans les meilleurs délais.

2.4 Via la radio

Les bureaux météorologiques ont demandé la collaboration des postes de radio de leurs zones de responsabilité, pour diffuser la prévision agricole le plus fréquemment possible.
Avec, en gros, 45 postes participants cette année, nous avons recruté

carte no. 6

à peu près tous les postes disponibles.
Avec ce réseau de collaborateurs, la diffusion se fait sur une plus large étendue qu'avec tous les autres moyens réunis. Et comme pour Radiométéo-Canada, tous ceux qui sont à l'écoute, quand le bulletin est émis, sont informés en même temps.
Cependant, la fréquence des bulletins est très faible.
La radio nous accorde des heures de diffusion avantageuses, mais après une émission le matin et une autre en début de soirée, c'est tout. Si vous avez manqué l'heure du matin à un poste, votre prochaine chance au même poste, c'est 10 heures plus tard.

De plus, 28 postes sur 45 ne diffusent que le matin et 27 sur 45 ne diffusent pas les fins de semaines.

Bref, à partir du moment où la prévision agricole est émise par le Centre météorologique du Québec, c'est le personnel des bureaux météorologiques qui la prend en charge et lui assure la plus large diffusion possible.

3.0 Consultation professionnelle

Vous connaissez maintenant assez bien le rôle de diffusion de l'information qui revient aux bureaux météorologiques. Je vais élaborer sur l'expertise nécessaire pour ce genre de travail.

Notre expertise joue sur trois aspects de la météo:

- . la prévision
- . la climatologie
- . la vulgarisation météorologique

Et, bien sûr, je vais traiter de cette expertise dans son rapport avec la clientèle agricole.

3.1 La prévision

Avant de transmettre une prévision à l'usager, au bureau météorologique, on s'occupe de l'emballage du produit et de certaines modifications.
Par exemple, Radiométéo-Canada à Montréal, diffuse la prévision de degrés-jours de croissance à l'intention des producteurs affiliés à AMPAQ. Ces degrés-jours de croissance ne sont pas diffusés ailleurs.

Nous modifions au besoin la prévision compte tenu des changements météorologiques.

Plusieurs producteurs nous consultent pour les opérations de dernières minutes, comme: Doit-on faner? A une telle question, il nous est possible de répondre en infirmant ou confirmant la présence d'averses orageuses dans une région donnée, et faciliter ainsi la prise de décision.

Nous avons ajouté la probabilité de 5 mm ou plus et utilisons une terminologie plus évocatrice et plus facile à retenir pour nos aperçus jusqu'à cinq jours. Et ce parce que nos contacts quotidiens avec l'usager, des sondages périodiques et la consultation avec les gens de l'UPA et du MAPAQ nous font mieux connaître les besoins du milieu agricole.
On peut donc dire que notre expertise, au niveau de la prévision, tient autant à la connaissance du produit qu'à celle de la clientèle

3.2 La climatologie

Nous avons accès aux banques de données de toutes les stations d'observations météorologiques du Québec comme du Canada.
Les statistiques disponibles comprennent bien sûr les données de températures et de précipitations, mais également les unités thermiques du maïs pour les stations principales de toutes les régions agricoles, les valeurs d'insolation et de rayonnement solaire, l'épaisseur de neige, les probabilités de gel, le nombre de jours de croissance, etc, sont autant de données disponibles.

A ce niveau, celui de la climatologie, on fait souvent affaires avec de nouveaux venus en agriculture. Ces derniers veulent connaitre les meilleures zones climatiques pour débuter un type particulier de culture. Ou bien, quand ils possèdent déjà le fond de terre, ils vérifient, avec nous, les cultures possibles selon entr'autres, la saison de croissance et les risques de gels tardifs.

Par exemple, l'analyse d'impact d'un dégel hivernal sur les luzernières exige des séries d'observations climatologiques. Nous les avons.
La recherche sur les pertes de sols par ruissellement, demande que l'on modèlise l'empreinte type d'un orage, en termes d'intensité de pluie aux 5, 10, 15, 30, 60 minutes et qu'on connaisse la fréquence des orages. Ces informations, nous les avons.

3.3 La vulgarisation météorologique

J'ai fait une catégorie à part avec ce thème qui recouvre l'aspect théorique et l'explication des phénomènes météorologiques.
Mais, dans les faits, cet aspect de notre expertise est partie intégrante de nos services tant prévisionnels que climatologiques.

Faire comprendre ce que nous faisons et ce qui se passe quotidiennement avec le temps est une de nos raisons d'être.

Nous rencontrons à l'occasion, des groupes de producteurs pour répondre à leurs questions et enquêter sur la pénétration de nos services.

Des producteurs viennent nous voir avec des problèmes bien concrets. Par exemple, deux producteurs d'arbres de Noël sont venus s'informer sur les moyens à prendre pour contrer les gels tardifs.
Le 3 juin 1986, le gel a fait perdre une année de croissance aux sapins de Noël de la plupart des pépinières de leur région. Le dégat a été évalué à plusieurs millions de dollars.

Nous avons fait ensemble le tour du problème:
. Comment se produit le gel par rayonnement ?
. Comment se draine l'air froid ?
. Quels sont les mesures de protection efficaces et celles qui ne le sont pas ?

Nous avons éliminé l'écran de fumée qui n'arrête pas le rayonnement infra-rouge, ou si l'on préfère la perte de chaleur du sol.
Le mélange de l'air froid près du sol avec une couche d'air plus chaude au-dessus, n'est pas concluant si on procède à des vols en rase-mottes avec avion (meilleur par hélicoptère).
Restaient l'arrosage intensif avant et pendant la période de gel, en faisant gicler de fines gouttelettes, et l'utilisation de petits poêles à mazout (salamandres). On utilise ces petits poêles non pour faire de la fumée, mais à des endroits stratégiques pour réchauffer l'air froid qui s'écoule sur les pentes.
Nous n'avons pas de solutions miracles, mais pouvons aider un client à faire un choix plus éclairé.

4.0 Pour terminer...

Je soulignerai le fait que lorsque vous faites affaires avec un bureau météorologique, vous utilisez la grande porte d'accès, non seulement, à des donnés ou produits météorologiques usuels, mais aussi à l'expertise globale de tout le service météorologique canadien.

Le personnel des bureaux météo est épaulé par une unité scientifique à la fine pointe des connaissances actuelles en météorologie, par une section agro-météo qui transfert le maximum d'applications météorologiques à l'agriculture et par le Centre climatique canadien qui archive tout ce qui s'observe en météo. En passant, le Centre climatique canadien rend disponible ses archives sur bandes magnétiques, sur disquettes, cartes ou imprimés.

Prise des données à la ferme

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Paul Lamb

Environnement Canada

L'UTILITÉ DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES A LA FERME

INTRODUCTION

Depuis déja plusieurs années, la Commission d'agrométéorologie du CPVQ a sensibilisé les agriculteurs, par ses colloques, conférences et diverses publications à utiliser de plus en plus les données météorologiques pour accroitre l'efficacité de leur gestion des travaux de la ferme ou encore pour s'assurer d'une meilleure planification de leur cultures.

Dans le cadre du présent colloque, il nous a semblé opportun de présenter quelques faits qui permettront de juger dans quels cas il serait utile qu'un agriculteur s'équipe d'instruments météorologiques pour effectuer lui-même la prise de ses données, de fournir quelques indications qui permettront de faire un choix éclairé lorsque vient le temps de procéder à l'achat des appareils et recommander certaines précautions à prendre lors de l'installation et de la lecture des appareils de mesure.

DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES REPRÉSENTATIVES DE NOTRE FERME

Une manière de suivre l'évolution des cultures consiste à consigner quotidiennement les variables météorologiques qui représentent leur degré d'avancement ou bien le stade de développement des ennemis des cultures. On utilisera ainsi les données de degrés-jours à différents seuils ou encore, dans des cas plus complexes, on pourra les utiliser pour mettre à jour un modèle de bilan hydrique.

Comme on peut le constater à la FIGURE I, les données météorologiques prises par les réseaux d'observation nationaux sont souvent suffisantes pour servir de guide pour caractériser le climat d'un endroit particulier. Il existe cependant plusieurs endroits où la topographie est plus accentuée et où la station météorologique la plus près ne sera pas suffisamment représentative du micro-climat de notre ferme. Il pourrait alors devenir utile que l'agriculteur s'équipe d'un poste d'observation qu'il opérera lui-même.

C'est à cette conclusion qu'en sont venus de plus en plus d'agriculteurs ces dernières années et certaines présentations, au cours de ce colloque vous permettront de connaitre plus de détails sur ces expériences.

EXEMPLE DE MICRO-CLIMAT

Pour illustrer ces différences micro-climatiques nous avons choisi de présenter une comparaison entre les données de deux stations qui sont très voisines l'une de l'autre et qui, à priori, devraient être très comparables à savoir, celles de Sainte-Hyacinthe et de Saint-Hubert-A. Ces deux stations sont situées à environ 35 km en ligne droite, dans une région climatologique homogène. Nous présentons au TABLEAU I et aux FIGURES II et III les valeurs comparées des hauteurs de pluie, de températures moyennes et de degrés-jours au-dessus du seuil 5 degré C. pour la période du 1 mai au 30 septembre des années 1985, 1986 et 1987. Lorsque des valeurs quotidiennes étaient manquantes à l'une des stations nous les avons supposées égales à celles de l'autre afin de ne pas biaiser la comparaison.

Ces données permettent de faire les constats suivants:

TEMPÉRATURES ET DEGRÉS-JOURS

l'écart de cumul de degrés-jours entre les deux stations varie d'une année à l'autre mais il reflète un écart relativement constant de température entre les deux sites pour une année donnée.

l'écart de degrés-jours à la fin de septembre varie de 96 en 1986 à 123 en 1985, soit une variation de l'ordre de 5 pour-cent du total annuel.

HAUTEURS DE PLUIE

la différence dans le cumul des hauteurs de pluie est beaucoup plus marquée d'une année à l'autre. Par exemple, nous avons relevé quatre périodes durant les trois années pendant lesquelles un écart de plus de 20 mm a duré plus de deux jours consécutifs. Ce sont celles du 20 au 25 juillet et du 23 août au 11 septembre 1986 pour des durées respectives de 6 et de 20 jours, et celles du 2 mai au 8 juin 1987 et du 3 août à la fin septembre 1987 pour des durées de 13 et de 59 jours respectivement.

Ces différences entre les deux stations sont effectivement assez faibles mais elles sont quelquefois suffisantes pour expliquer l'apparition plus hâtive que prévue de certains stades de développement ou de certaines maladies. Lorsque les données doivent servir à suivre l'évolution de nos cultures par exemple à l'aide d'un modèle de bilan hydrique il est à toute fin pratique essentiel de tenir compte de ces différences micro-climatiques.

QUALITÉ, NORMES D'INSTALLATION DES INSTRUMENTS ET PRISE DE DONNÉES

Afin de s'assurer que notre investissement en capital et en temps soit rentable il est essentiel, au départ, de prendre certaines précautions avant de se lancer dans une telle aventure particulièrement si la personne possède peu d'expérience dans le domaine météorologique. Il est entre autre important de faire en sorte que les données que nous accumulerons pendant un certain nombre d'années puissent être comparées à celles d'une station météorologique officielle pour pouvoir bénéficier des données statistiques qui sont calculées par les différents organismes gouvernementaux.

Les appareils servant à la mesure (abri météo, thermomètres et pluviomètre) doivent être de qualité et toujours bien entretenus. Il est recommandé de s'approvisionner chez un manufacturier reconnu.

Les lectures des appareils de mesure doivent être faites tous les jours de la saison de croissance, à la même heure, de préférence vers 08:00 heures le matin puisque les stations climatologiques officielles utilisent ce standard.

L'équipement dont sera pourvu la station peut être plus ou moins élaboré selon les paramètres météorologiques dont on veut suivre l'évolution. Une station de base devrait être munie d'un pluviomètre et de thermomètres à maximum et minimum. On peut ajouter un pluviographe à augets s'il est important de connaitre les heures de début de la pluie, sa durée et son intensité. Un héliographe fournira la durée de l'ensoleillement tandis qu'un hygrographe produira un enregistrement de l'humidité relative.Ces appareils sont disponibles sur le marché en version à lecture directe ou à enregistrement sous forme de graphique quotidien, hebdomadaire ou mensuel.

L'opération d'une station et l'extraction des données, surtout lorsqu'elle est constituée d'un bon nombre d'appareils de mesure, peut s'avérer assez fastidieuse et c'est la raison pour laquelle les manufacturiers offrent aussi une station automatique qui recueillera, à intervalle désiré, les données des différents capteurs qu'on lui aura raccordés. Les données de ces stations peuvent être lues directement à la station ou encore elles peuvent être transférées à un micro-ordinateur pour y être conservées et permettrre d'effectuer les calculs statistiques et les comparaisons avec les données de la station climatologique officielle. La FIGURE IV illustre schématiquement le fonctionnement d'une station automatique.

Nous avons tenté de résumer, au TABLEAU II, les principales précautions à respecter lors de l'installation des différents appareils.

CONCLUSION

Comme nous avons pu le constater, les conditions micro-climatiques peuvent être responsables d'une partie des variations régionales observées dans les rendements. Une façon d'améliorer la planification et la gestion des opérations agricoles consiste à mieux connaitre le climat de sa ferme et le meilleur moyen pour y arriver est sans nul doute de se doter d'une station météorologique.

TABLEAU I: Valeurs climatologiques comparées pour la période du 1er mai au 30 septembre à Saint-Hubert-A et à Saint-Hyacinthe

	PLUIE (mm)		TEMPERATURE MOYENNE (deg C)		DEGRES-JOURS >5 DEG C (deg C)	
	Saint-Hubert-A	Saint-Hyacinthe	Saint-Hubert-A	Saint-Hyacinthe	Saint-Hubert-A	Saint-Hyacinthe
MOYENNE 85 86 87	495,1	481,6	16,3	17,1	1736,9	1845,6
1985	432,1	439,7	16,4	17,2	1744,1	1867,3
1986	612,6	610,1	15,7	16,4	1646,4	1742,4
1987	440,5	394,9	16,9	17,6	1820,3	1927,2

TABLEAU II: Appareils de mesures météorologiques et précautions à prendre pour obtenir des valeurs fiables.

APPAREIL	PARTICULARITÉ
Abri météorologique et thermomètres	doit être peinturé en blanc pour réfléchir les rayons solaires
	doit être ajouré pour assurer un bonne circulation de l'air
	installé à 1,5 m du sol
	doit être installé à au moins deux fois la hauteur de tous objets environnants
	la porte doit être située face au nord de sorte que le soleil ne puisse éclairer les thermomètres lorsque la porte est ouverte
	s'assurer que la colonne d'alcool n'est pas séparée
Pluviomètre	doit être situé à au moins deux fois la hauteur de tous objets environnants.
	doit être bien au niveau.
	l'orifice doit être situé à environ 35 cm du sol
	on doit vérifier qu'il soit toujours étanche
	il doit être mis sur une surface gazonnée de sorte que la pluie ne puisse rejaillir à l'intérieur.

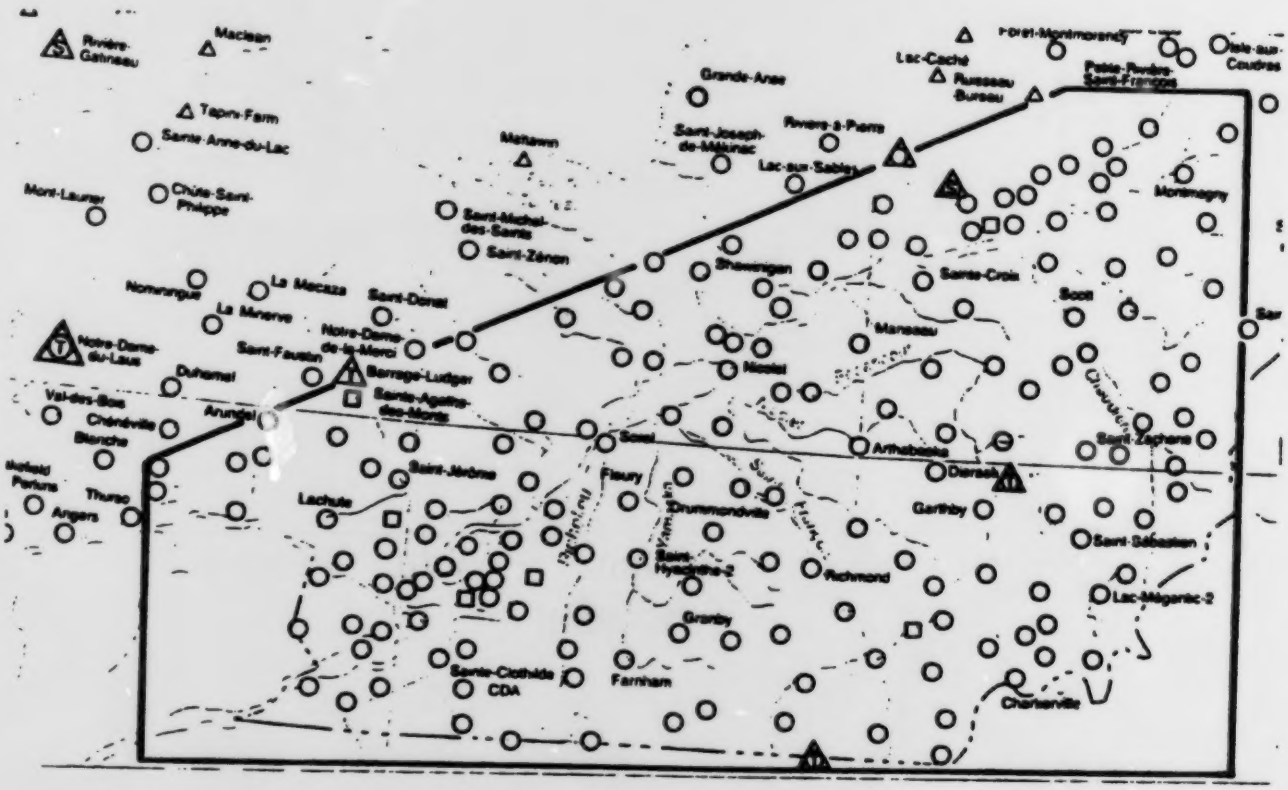


Figure 1: Réseau des stations météorologiques du sud du Québec.

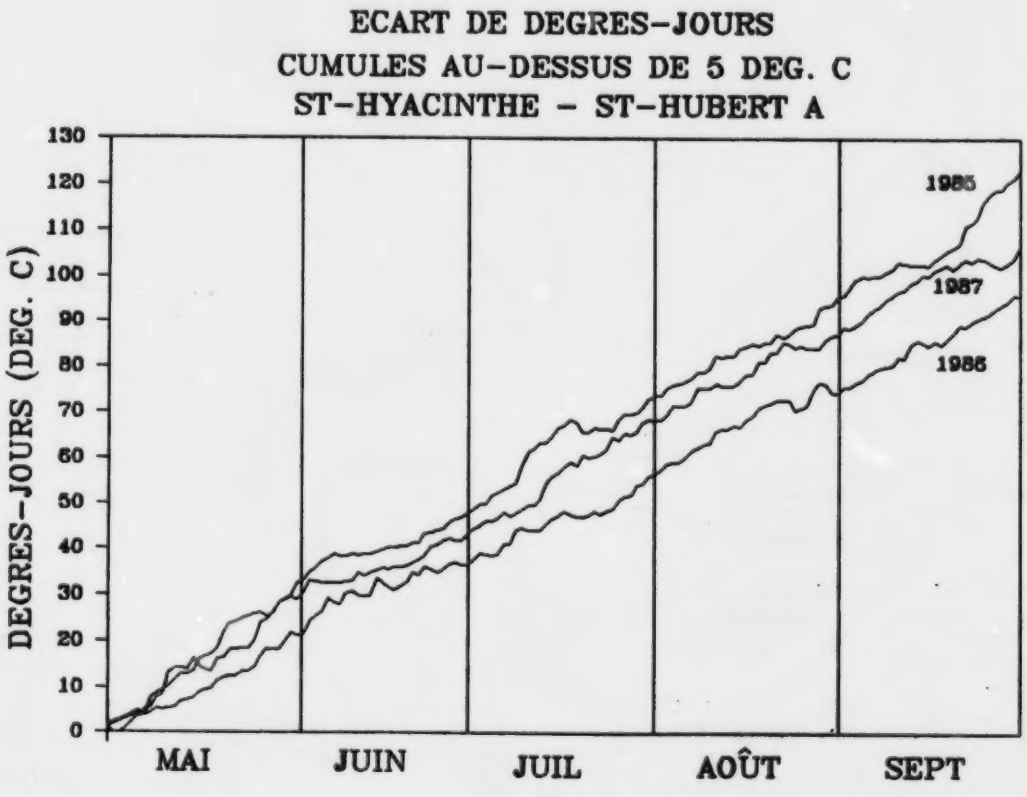

ECART DE DEGRES-JOURS
CUMULES AU-DESSUS DE 5 DEG. C
ST-HYACINTHE - ST-HUBERT A
DEGRES-JOURS (DEG. C)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
MAI
JUIN
JUIL
AOÛT
SEPT
1985
1987
1986

FIGURE II

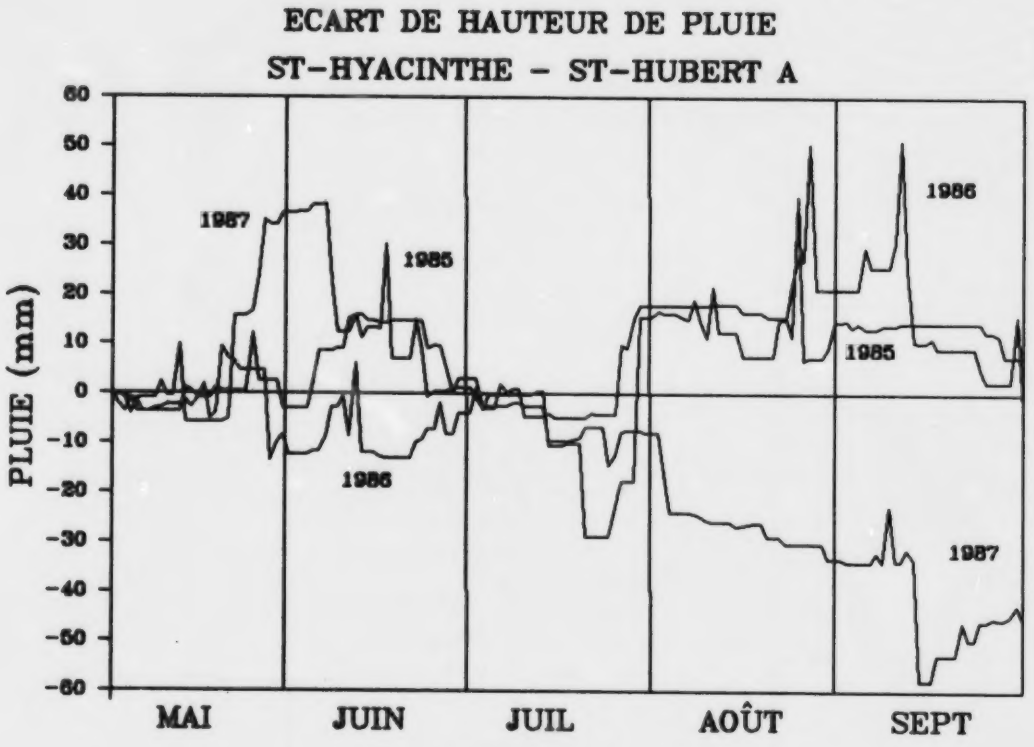

ECART DE HAUTEUR DE PLUIE
ST-HYACINTHE - ST-HUBERT A
PLUIE (mm)
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
1987
1985
1986
1986
1985
1987
MAI
JUIN
JUIL
AOÛT
SEPT

FIGURE III

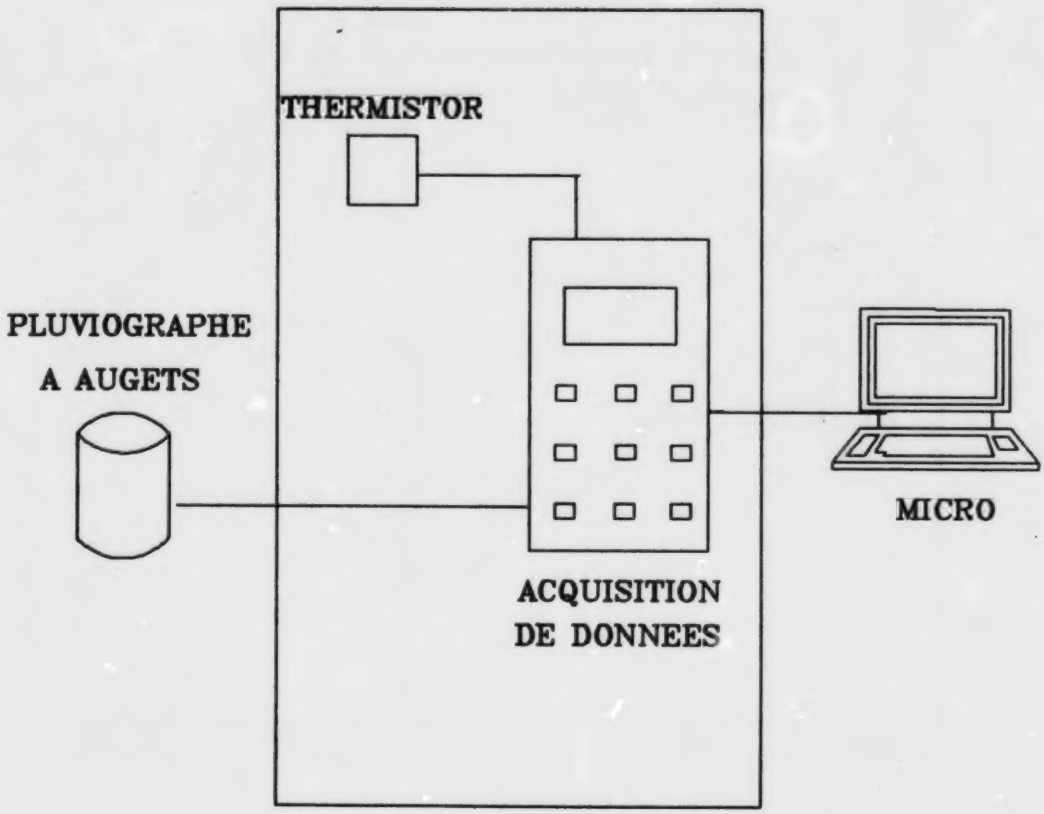


FIGURE IV SCHEMA D'UNE STATION AUTOMATIQUE

Variabilité du climat régional

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Philippe Rochette

Agriculture Canada

LE MICROCLIMAT : ASPECTS THEORIQUES ET POSSIBILITES DE MODIFICATION.

INTRODUCTION

Les prévisions météorologiques sont un précieux outil de gestion des opérations agricoles. Elles permettent, entre autres, à l'agriculteur de mesurer le risque d'échec associé aux décisions dont le succès dépend du climat. Ces décisions peuvent être à court terme comme la récolte des fourrages ou à moyen terme, comme le choix d'une culture, d'une variété ou d'un hybride.

A chaque fois, cependant, l'agriculteur fait face à un problème d'interprétation de l'information agrométéorologique. Cette dernière est en effet obtenue d'observations du climat faites en des endroits qu'on juge représentatifs du climat régional moyen. Mais jusqu'à quel point le climat d'une ferme ou d'un champ en particulier est-il semblable à celui de la région qui l'entoure? Bien que seule la mesure, sur place, des paramètres météorologiques pertinents puisse permettre de répondre précisément à cette question, il est possible, en maîtrisant certaines connaissances de base de comprendre les différences spatiales du climat et de prévoir les particularités climatiques d'un endroit donné.

Le climat d'un endroit est, en effet, la résultante d'interactions entre le sol et l'atmosphère qui sont régies par des principes physiques dont la compréhension est à la portée de tous. Le but de ce texte n'est pas d'étudier ces interactions en détail mais plutôt de décrire brièvement comment elles créent le microclimat d'un endroit. Dans un effort d'application de la théorie à une situation concrète, nous nous attarderons à l'étude de la température du sol. Nous verrons alors comment il est possible de la modifier à l'aide de paillis et de brise-vent afin de la rendre plus favorable à certaines pratiques agricoles.

LE BILAN ENERGETIQUE

L'étude du climat d'un endroit peut se faire par celle de son bilan énergétique. Ce dernier n'est rien d'autre que la redistribution, via différents processus d'échange, de l'énergie reçue sur l'ensemble des surfaces du site étudié. Il est exprimé par la relation suivante:

$$Rn + N = H + LE + G$$

où N, H, LE et G sont respectivement l'advection, le flux de chaleur sensible, le flux de chaleur latente et le transfert de chaleur dans le sol; et où la radiation nette (Rn) est le bilan de la radiation de courte et de longue longueur d'onde reçue et perdue sur la surface considérée. Elle est donnée par:

$$Rn = Rs\,(1-\alpha) + (Rl\downarrow - Rl\uparrow)$$

où Rs est la radiation solaire, α est l'albédo et $Rl\uparrow$ et $Rl\downarrow$ sont respectivement la radiation de longue longueur d'onde émise par la surface terrestre et l'atmosphère.

Rs est de loin la source d'énergie la plus importante. Son intensité dépend de la position du soleil sur la voute céleste, de la limpidité de l'air et de la couverture nuageuse. Une partie de Rs est réfléchie par la surface. Cette fraction, appelée albédo (α), est une caractéristique de la surface et varie en fonction de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence de la radiation. L'albédo varie habituellement entre 0.18 et 0.3 pour la plupart des cultures agricoles et entre 0.15 et 0.45 pour un sol nu.

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet de l'énergie radiative dont l'intensité est fonction de sa température. La surface terrestre ($Rl\uparrow$) et les composantes de l'atmosphère ($Rl\downarrow$) produisent donc de la radiation. La longueur d'onde moyenne de ces émissions est cependant plus longue que celle de la radiation solaire et le bilan entre $Rl\uparrow$ et $Rl\downarrow$ se calcule distinctement de Rs.

Le terme advectif (N) du bilan énergétique représente les pertes ou les gains entraînés par le transfert latéral d'un air plus chaud ou plus froid que celui engendré par le bilan énergétique local. Un air réchauffé par son passage sur une surface plus chaude (souvent plus sèche) est un exemple d'advection positive alors qu'au contraire, la fraîche brise marine en est un d'advection négative.

La radiation nette et l'advection (Rn + N) représentent l'énergie nette reçue à la surface du sol. Leur intensité détermine donc celle des autres flux (H, LE et G). La répartition, dans les autres termes, de l'énergie nette reçue à la surface est surtout fonction de l'humidité disponible à la surface. En effet, sur un sol humide (ou sur une couverture végétale bien approvisionnée en eau), plus de 80% de "Rn+N" peut être consacré à l'évaporation de l'eau disponible et il restera relativement peu d'énergie pour le réchauffement de la surface. En condition plus sèche (déficit hydrique), l'évaporation est diminuée et le sol se réchauffera d'autant plus que l'eau disponible sera plus rare.

L'humidité de la surface détermine donc non seulement l'intensité de LE, mais aussi celles de H et de G par son effet sur la température de cette même surface. En effet, la température de la surface contribue à la formation des gradients thermiques qui gouvernent en partie H et G.

L'effet de la disponibilité de l'eau sur l'importance des flux est bien illustrée aux figures 1a et 1b. On y voit les valeurs des composantes du bilan énergétique pour deux journées ensoleillées dans un champs de maïs à Ottawa pendant l'été 1988. Le 14 juin, la région d'Ottawa connaissait sa pire sécheresse depuis longtemps alors qu'au 12 août, des pluies substantielles avaient restauré une bonne partie des réserves en eau du sol et le couvert végétal était alors complet. L'impact de ces conditions sur H et LE sont évidentes.

Les flux des chaleurs sensible (H) et latente (LE) procèdent de façon semblable. L'air immédiatement au-dessus de la surface s'enrichit en vapeur d'eau et se réchauffe ou se refroidit par processus de diffusion moléculaire (appelée "conduction" lorsqu'appliquée au transfert thermique). De là, la convection (surtout forcée) entraîne la vapeur d'eau et la chaleur vers les couches d'air supérieures dans un processus d'homogénéisation des propriétés de l'air.

Le transfert de chaleur dans le sol (G) est pour sa part limité au processus de diffusion moléculaire. Il est plus lent et la conductibilité thermique du sol dépend entre autre de sa texture, de sa densité apparente et de son contenu en eau et en matière organique.

La connaissance des principes gouvernant les processus d'échange énergétique entre les surfaces terrestres et leur environnement nous permet de comprendre et de prévoir le comportement de certaines propriétés de l'air et du sol sous différentes conditions. L'agriculteur et l'agronome qui maîtrisent ces quelques principes de base sont donc non seulement en mesure de distinguer les endroits d'une ferme les plus susceptibles au gel, ceux qui se réchauffent le plus vite au printemps et ceux où l'efficacité de l'eau sera plus grande, mais aussi, dans une certaine mesure, de modifier les caractéristiques de certains afin que leur climat corresponde mieux aux exigences des plantes cultivées.

L'intention de ce texte est d'étudier un paramètre important de l'environnement physique de la ferme: la température du sol. Le lecteur, peu familier avec le domaine de la micrométéorologie, pourra, je l'espère, en retirer une connaissance suffisante de cette science pour en appliquer les principes à d'autres situations auxquelles il serait confronté.

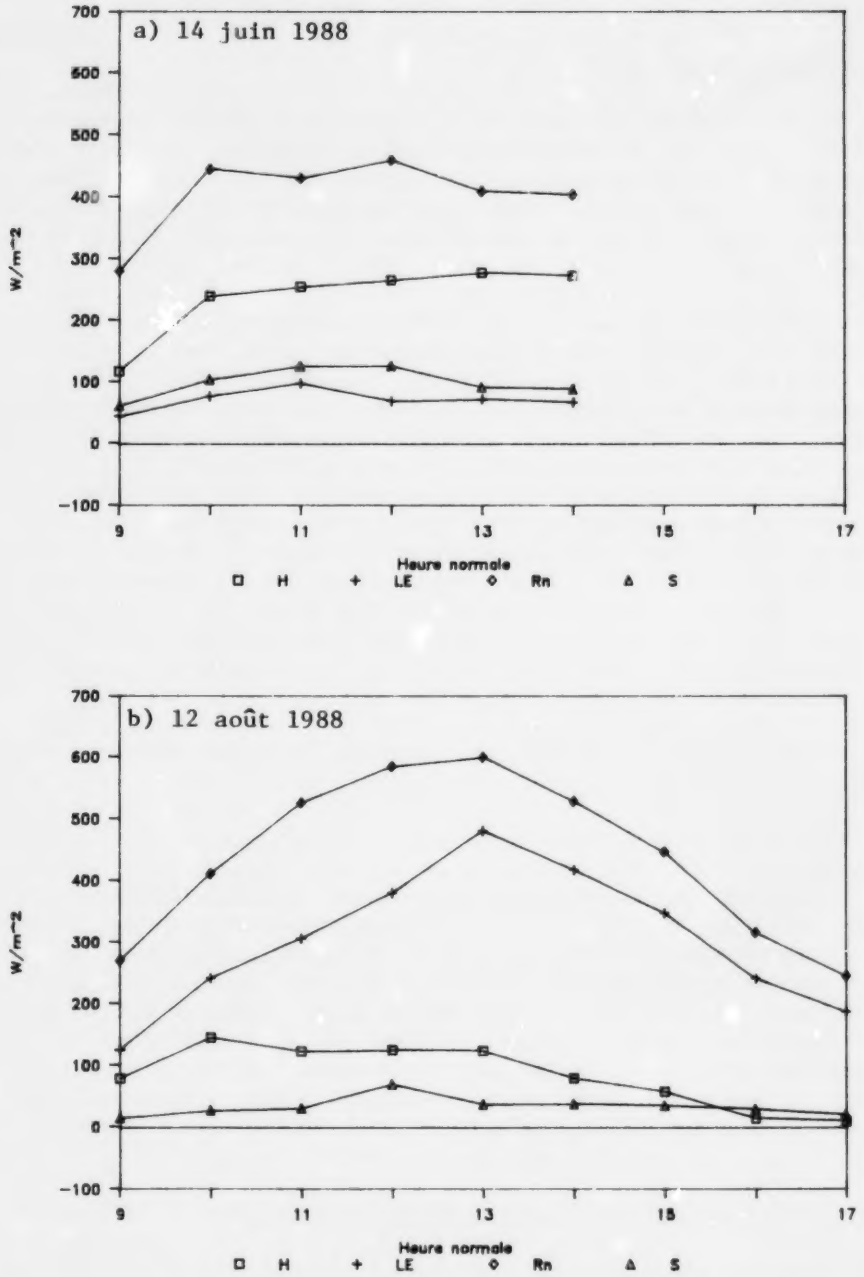


Figure 1. Bilan énergétique d'un champ de maïs à Ottawa. (LRRC, Agriculture Canada)

TEMPERATURE DU SOL

La température du sol est fonction de l'énergie radiative nette reçue à sa surface, de sa chaleur spécifique et de sa conductivité thermique. Le rôle de la radiation nette est évident. En effet, tous les autres paramètres étant assumés constants, un sol se réchauffera d'autant plus qu'il recevra plus d'énergie.

Tous les sols recevant un même quantité d'énergie ne subiront cependant pas nécessairement la même variation de température. La facilité avec laquelle un sol doit changer sa température est exprimée par sa chaleur spécifique volumique (Cv). La Cv d'un sol est la quantité d'énergie nécessaire pour augmenter une unité de son volume de 1°C. A cet égard, le sol peut être considéré comme un mélange de substance minérale, d'eau et d'air. La fraction minérale est constante alors que la porosité peut être occupée par de l'air seulement, par de l'eau seulement ou, comme c'est le cas le plus souvent, par un mélange des deux. Or, sachant que l'eau a une Cv 300 fois plus élevée que celle de l'air et que la Cv totale d'un sol est égale à la somme des produits des Cv de chaque constituant par sa fraction volumique, on comprend que le bon drainage d'un sol est souhaitable si on désire augmenter la température de sa couche superficielle plus vite.

La température du sol est aussi fonction de sa conductibilité thermique (K). Sur un sol ayant une faible K, l'énergie reçue en surface sera peu conduite en profondeur et il verra la température de sa surface augmenter beaucoup alors que les couches sous-jacentes resteront froides. Dans un autre ayant un plus grand K, la hausse de température sera moins spectaculaire en surface mais plus grande plus en profondeur en réponse au meilleur transfert de chaleur. Cette réserve d'énergie, associée à une remontée facile de la chaleur à la surface pour combler les pertes thermiques nocturnes, peut être un atout précieux dans la lutte contre le gel.

MODIFICATION DE LA TEMPERATURE DU SOL

Le sol est la surface active qui reçoit la radiation et c'est d'elle qu'originent les flux de chaleur (H et G) et de vapeur d'eau (LE). Le réchauffement ou le refroidissement du sol est la résultante du bilan énergétique. Si l'élévation de la température du sol est souhaitée, toute modification entraînant une augmentation de la radiation nette, une réduction des flux vers l'atmosphère ou les deux à la fois sera profitable.

Radiation

L'augmentation de la radiation nette peut être obtenue par une hausse de Rs ou par une réduction de Rl↑ et de l'albédo. La radiation solaire reçue est maximale lorsque la surface est perpendiculaire aux rayons solaires. La pente et l'orientation d'un champ ont donc un effet marqué sur la charge radiative reçue. C'est un aspect particulièrement important aux latitudes moyennes par rapport aux tropiques où le soleil est toujours très haut et aux hautes latitudes où l'abondance du rayonnement diffus diminue l'importance de ce facteur. Le choix du champ offrant les meilleures conditions de radiation peut être déterminant dans une culture de primeurs ou de certaines plantes exigeant une température du sol élevée pour sa germination.

La culture sur billon permet de reproduire, à plus petite échelle, l'avantage d'une pente favorable. Cette situation, associée à un meilleur drainage résulte en un température du sol plus élevée.

La radiation de longue longueur d'onde émise par le sol peut être réduite par la présence d'un paillis plastique transparent. Il a en effet été observé qu'il se forme, sur la face inférieure d'un tel paillis, une pellicule d'eau condensée qui capte et réémet le rayonnement thermal venant du sol. Une augmentation de Rn en résulte alors.

Flux

L'autre façon d'augmenter la température du sol est de diminuer les flux originant de sa surface (H et LE). L'énergie non utilisée servira alors à réchauffer une couche de sol plus ou moins importante en fonction des caractéristiques du sol. L'intensité approximative des flux peut être obtenue par la méthode dite "des gradients". Cette approche pose l'hypothèse que les échanges turbulents peuvent être exprimés par des relations semblables à celles décrivant les phénomènes de diffusion moléculaire. L'expression typique donnant la valeur des flux est de la forme:

$$Fa = Ka \, \Delta a / \Delta z$$

où Fa, Ka et $\Delta a / \Delta z$ sont respectivement le flux, le coefficient de diffusivité (moléculaire pour le sol et turbulente pour l'air) et le gradient vertical de la propriété "a".

Toute action visant à modifier les flux devra donc agir sur la diffusivité du milieu ou sur le gradient de la propriété.

Gradient

Les gradients peuvent être réduits en diminuant la valeur de la propriété à la surface. Or, comme nous visons à augmenter la température de la surface, le flux de chaleur sensible (H) ne peut être réduit par cette approche. Nos efforts pour diminuer les flux par la modification des gradients doivent donc se concentrer sur la disponibilité de l'eau à la surface du sol.

Les paillis sont la technique la plus employée à cette fin. Il en existe différents types qui vont d'une simple couche de sol pulvérisé à des pellicules plastiques conçues pour satisfaire des besoins précis. Ils n'ont pas tous la même efficacité. Certains ont même un effet contraire et conduisent à une température plus froide que celle d'un sol non protégé. C'est le cas de la plupart des paillis de matière végétale comme la paille ou autres résidus végétaux. Leur but premier est la conservation de l'eau et leur faible conductibilité thermique fait que l'énergie reçue en surface n'est pas transmise au sol sous-jacent. Ce type de paillis est particulièrement intéressant pour certaines pratiques horticoles ou pour l'agriculture en climat semi-aride. Il est intéressant de noter que la pratique du "travail limité" du sol (minimum tillage) permet de laisser une fraction importante des résidus de culture en surface. Dans le sud des prairies canadiennes, cette pratique permet, lors de saisons particulièrement sèches (1988!), de diminuer l'érosion éolienne et de mieux conserver l'humidité du sol. Dans des climats plus humides, une telle pratique retarde cependant le réchauffement du sol et peut entraîner des problèmes de germination et de maladies associées à une trop grande humidité du sol.

Les paillis en matière plastique, particulièrement ceux qui sont transparents au rayonnement visible, permettent un réchauffement nettement plus rapide du sol au printemps. En effet, en plus de l'augmentation de la radiation nette que leur présence entraîne, ils éliminent les pertes de chaleur latente. L'énergie ainsi sauvée sert à réchauffer la surface et à hausser le flux de chaleur dans le sol (G) bien que H soit lui aussi augmenté. Cette technique est de plus en plus utilisée dans les cultures horticoles nécessitant un réchauffement rapide du sol au printemps et dont les revenus qu'on en tire justifient cet investissement.

L'effet de différents types de paillis sur les composantes du bilan énergétique pour des conditions ensoleillées est présenté à la figure 2.

MI-JUIN

	sol non couvert	plastique noir	papier	foin
Rn	642	712	433	607
H	362	635	349	489
LE	195	0	42	84
S	85	77	42	35

MI-OCTOBRE

	sol non couvert	plastique noir	plastique transparent	aluminium
Rn	447	503	447	279
H	279	453	328	265
LE	70	0	0	0
S	98	50	119	14

(flux en $W\ m^{-2}$)

Figure 2. Effets de différents types de paillis sur les composantes du bilan énergetique d'une surface. (tiré de Waggoner et al., 1960)

Diffusivité

sol

Une amélioration de la conductibilité thermique du sol entraînera un réchauffement moins marqué à sa surface mais plus fort plus en profondeur. La conductibilité thermique idéale pour un sol dépend de la culture et du moment de la saison. Le travail du sol au printemps vise à créer une couche de surface relativement aérée, peu conductive qui, associée à un meilleur assèchement, conduit à un réchauffement plus marqué qui favorisera une meilleure germination. Par contre, en période propice au gel, une bonne conductibilité permettra un meilleur emmagasinement de chaleur dans le sol et assurera une remontée efficace de cette dernière pour combler les pertes radiatives nocturnes.

En plus des pratiques culturales, le contenu en eau du sol a un effet important sur sa conductibilité thermique. L'eau du sol a un effet double sur la k. Sa présence signifie d'abord qu'il y a moins d'air, substance beaucoup plus isolante que l'eau. Elle assure aussi un meilleur contact entre les particules minérales. Cet effet diminue cependant rapidement après les premiers stades d'humectation du sol, si bien qu'après un certain seuil, l'augmentation du contenu en eau n'entraîne qu'une faible hausse de k (figure 3).

Nous sommes maintenant prêts à traiter du réchauffement de l'ensemble du profil d'un sol. Nous avons, en effet, défini les deux paramètres importants qui sont en cause (Cv et k) et traité du rôle prédominant du contenu en eau sur leur valeur respective. Il a été vu qu'une hausse du contenu en eau du sol entraînait une augmentation de la quantité de chaleur nécessaire à son réchauffement (Cv), mais qu'elle améliorait, en même temps, sa conductibilité thermique. L'eau a donc deux effets opposés sur le processus de réchauffement de l'ensemble du profil de sol.

La facilité d'un sol à se réchauffer sur l'ensemble de son profil est exprimée par la diffusivité thermique (K) qui est définie par le rapport k/Cv. Le sol se réchauffera d'autant plus facilement que K sera plus élevée et, connaissant l'importance du contenu en eau sur sa valeur, la question à poser est: qu'elle est la teneur en eau du sol pour laquelle K sera la plus élevée?

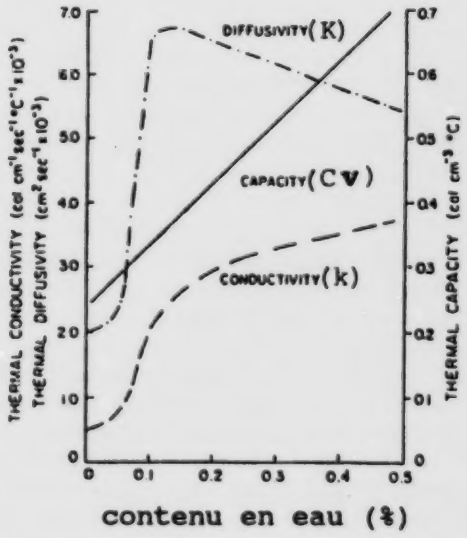


Figure 3. Variation de la diffusivité thermique (K), de la conductivité thermique (k) et de la chaleur spécifique volumique (Cv) d'un sol minéral avec son contenu en eau volumique. (tiré de Van Duin, 1963)

La variation de K, k et Cv d'un sol minéral avec la teneur en eau est présentée à la figure 3. On y voit, entre autres, que K est faible pour un sol sec, qu'elle augmente rapidement à son maximun aux environs de 10% d'humidité et décroit ensuite lentement jusqu'à la saturation (50%). Pendant longtemps, on a prétendu que la baisse de K dans les sols humides nuisait au réchauffement global de leur profil. Cette opinion est maintenant contestée. Ses opposants affirment que l'augmentation de K par son passage de la saturation à la capacité au champ est trop faible pour avoir un effet significatif sur le réchauffement du profil des sols minéraux. Ils concèdent cependant que le drainage est profitable au réchauffement des sols organiques (Steenhuis et Miller, 1986).

air

Nous avons mentionné que les échanges entre la surface et l'air ambiant se faisaient en deux étapes: une première près de la surface où les transferts se font par diffusion moléculaire et une deuxième plus loin de la surface où la turbulence domine. Théoriquement, les flux pourraient être mesurés dans l'une ou l'autre de ces deux régions puisqu'en conditions de régime permanent, ils devraient y être égaux. Cependant, la difficulté à définir la couche réelle où s'effectue le transfert moléculaire et celle d'y faire les mesures pertinentes font, qu'en pratique, on doit étudier les flux au-dessus de la couche limite de surface où seule la diffusivité turbulente est considérée. Cette dernière augmente avec la hauteur à mesure que décroit le gradient vertical de la propriété. Le flux résultant est constant à l'intérieur d'une hauteur plus ou moins importante dépendant de l'environnement du site étudié (habituellement entre un et dix mètres).

La diffusivité turbulente augmente avec la vitesse du vent, la rugosité de la surface et l'instabilité thermique. Les deux premiers sont ceux sur lesquels il est plus facile d'agir si on désire modifier la diffusivité turbulente de l'air. Dans certains cas où l'eau n'est pas un facteur limitant, les échanges peuvent être amplifiés par l'alternance de bandes de cultures de hauteurs différentes. On vise, par cette pratique, une augmentation du flux de CO_2 vers la culture et à favoriser ainsi une plus grande photosynthèse. Le plus souvent, cependant, une réduction des flux, plus particulièrement celui de vapeur d'eau, est souhaitée et une des façons utilisées pour y arriver est l'utilisation d'un brise-vent.

Les échanges convectifs dans l'air s'écoulant au-dessus d'une surface sont dus à la turbulence qui y est engendrée par le

gradient de vitesse du vent entre la surface et une hauteur de référence. La turbulence est un mouvement aléatoire de l'air, très efficace pour en homogénéiser les propriétés. En terrain ouvert, sans obstacle, l'intensité de la turbulence est proportionnelle à la vitesse du vent.

Un des moyens les plus efficaces pour réduire l'importance des échanges est le brise-vent. Nous l'étudierons plus en détail ici. Afin de bien comprendre l'impact d'un brise-vent sur la turbulence dans la région sous le vent, voyons ce qui arrive à l'écoulement de l'air lorsqu'il rencontre ce genre d'obstacle.

L'impact du brise-vent sur l'écoulement en est un de perte de charge. Sa présence freine le vent sur toute sa hauteur et génère ainsi un fort gradient vertical de la vitesse du vent tout juste derrière l'obstacle. Ce gradient produit à son tour une zone de grande turbulence appelée sillage ("wake") qui s'élargit d'autant plus vite en s'éloignant du brise-vent que le gradient est plus fort (figure 4). Cette région de l'écoulement est appelée zone de mélange à la figure 5.

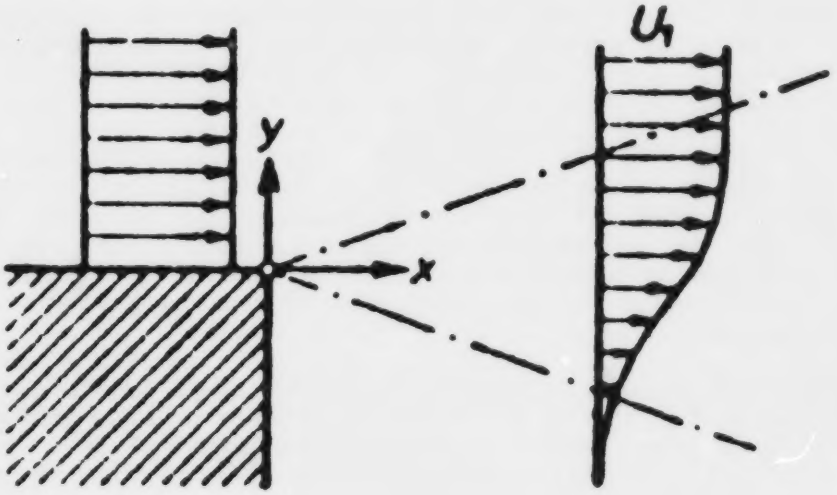


Figure 4. Illustration du sillage créé par un obstacle à l'écoulement d'un fluide.
(tire de Schlichting, 1979)

Derrière la barrière et s'étendant jusqu'à l'endroit où le sillage touche le sol, se trouve la zone tranquille, appelée ainsi en raison de la faible vitesse des vents qui y est observée. Cette zone définit la surface qui bénificie de

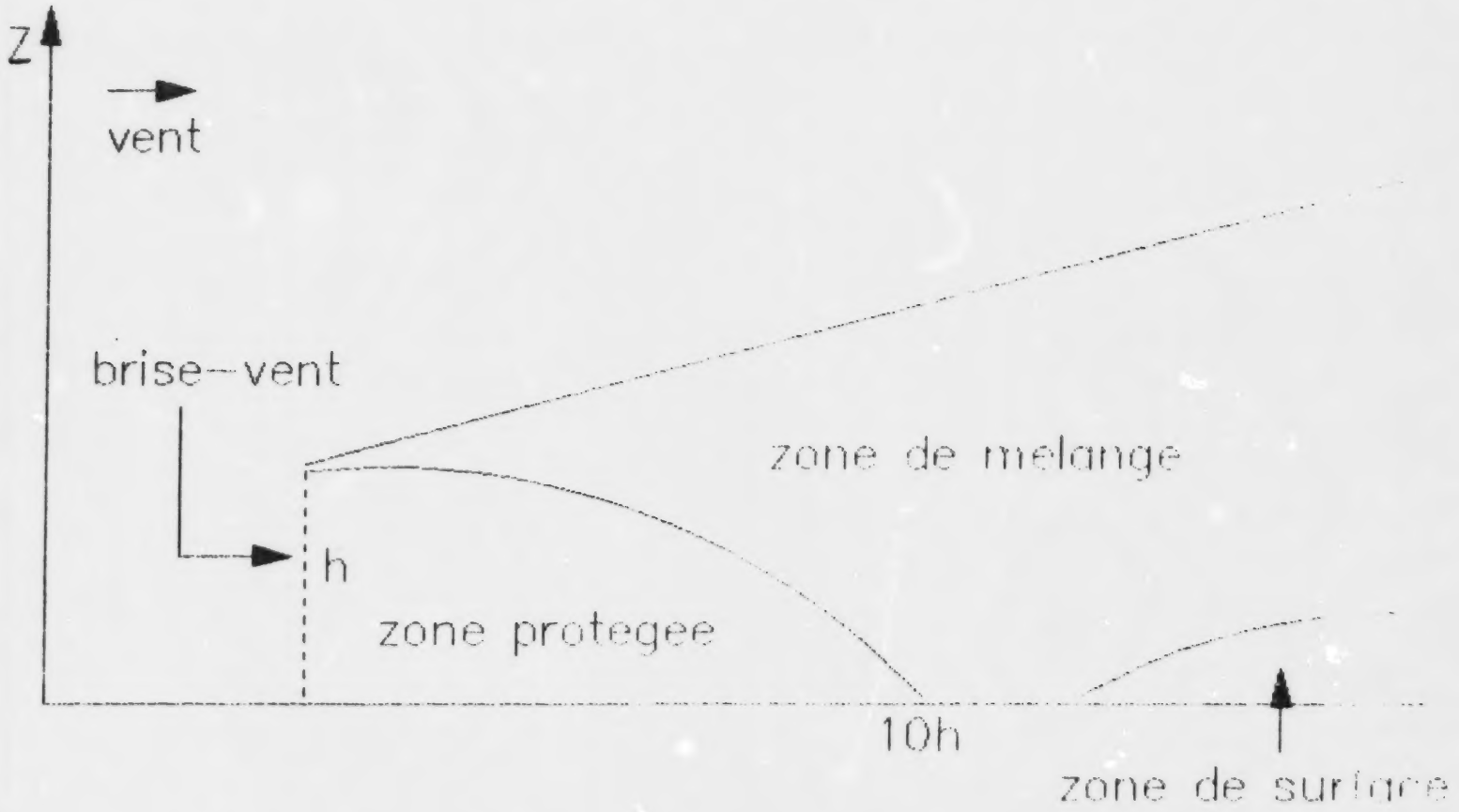


Fig 5. ZONES CARACTERISANT L'ECOULEMENT DERRIERE UN BRISE-VENT

l'effet protecteur du brise-vent. La turbulence y est en effet moins grande qu'à découvert sauf dans les cas où un très fort gradient vertical de la vitesse du vent dans la zone de mélange y génère une cellule de turbulence stationnaire.

Une troisième grande région peut être identifiée. Il s'agit de la zone de surface où l'écoulement recommence à être influencé par son contact avec le sol et où le profil logarithmique de la vitesse du vent avec la hauteur reprend forme. Il est moins facile de prédire l'intensité relative de la turbulence dans la zone de surface car la plupart des études sur l'effet des brise-vent se limitent à la zone tranquille. Il semble cependant qu'elle soit diminuée sur une mince couche au-dessus du sol mais augmentée au-delà de cette dernière. Il est prudent de dire que les échanges y sont semblables à ceux observés en terrain découvert mais il est possible qu'ils y soient légèrement plus élevés.

On peut synthétiser la description qualitative de l'écoulement de l'air derrière un brise-vent de la façon suivante:

- plus le brise-vent est dense, plus la perte de charge est grande;
- plus la perte de charge est grande, plus la vitesse du vent est réduite derrière le brise-vent;
- plus la vitesse du vent est réduite derrière le brise-vent, plus le gradient vertical de la vitesse du vent est grand dans le sillage;
- plus le gradient vertical de la vitesse du vent est grand dans le sillage, plus la turbulence y est importante;
- plus la turbulence est grande dans le sillage,
    * plus rapide est la récupération de la vitesse originale du vent,
    * plus courte est la zone tranquille,
    * plus grande est la turbulence dans les zones de mélange et de surface.

Ceci montre clairement l'importance de la porosité dans la conception d'un brise-vent. On s'accorde à dire que la porosité optimale d'un brise-vent serait entre 40 et 50% de sa surface. Derrière un tel brise-vent, la zone tranquille ou protégée s'étend alors sur environ dix fois la hauteur de l'obstacle. L'effet de la porosité sur l'écoulement est résumé à la figure 6.

porosité	zone	turbulence*	vit. vent*	longueur**
< 30%	tranquille	variable	<<	4 à 8h
	mélange	>	<	jusqu'à 35h
	surface	> ou =	<	jusqu'à 35h
entre 30 et 50%	tranquille	<<	<	6 à 12h
	mélange	> ou =	<	jusqu'à 75h
	surface	>	<	jusqu'à 75h

* par rapport à une situation sans brise-vent,
** h = hauteur du brise-vent.

Figure 6. Effet de la porosité du brise-vent sur les caractéristiques de l'écoulement.

CONCLUSIONS

Le microclimat d'un endroit, nous l'avons vu, n'est pas le fruit du hasard mais est plutôt régi par des processus physiques bien prévisibles. Leur maîtrise permet une planification plus rationnelle de l'utilisation du sol sur une ferme et une meilleure interprétation locale des prévisions météorologiques régionales.

Leur connaissance permet aussi de modifier, en certaines occasions les caractéristiques du milieu afin de créer un microclimat qui convienne davantage à la culture qu'on y pratique. A cet égard, nous avons vu le rôle que peuvent jouer les différents types de paillis et les brise-vent.

Les applications agricoles possibles de la micrométéorologie sont nombreuses. Nous aurions pu aussi traiter, par exemple, des conditions environnementales favorisant le gel et des différents moyens existants pour s'en protéger. Il aurait

aussi été possible d'étudier l'influence de l'environnement sur les performances des animaux de la ferme. Toutes ces applications reposent ultimement sur la connaissance du milieu physique de la ferme. On comprendra donc, bien que l'acquisition de cette dernière ne soit pas une panacée universelle, qu'elle représente toutefois la garantie la plus sûre de s'assurer que le climat travaille un peu plus pour nous ou, à tout le moins, un peu moins contre nous.

REFERENCES

CAMPBELL, G., 1977. An introduction to environmental physics. Springer-Verlag, N.Y., 159 pp..

MONTEITH, J.L., 1973. Principles of environmental physics. Contemporary Biology Series, Edward Arnold, Londres, 241 pp..

ROSENBERG, N.J., B.L. BLAD et S.B. VERMA, 1984. Microclimate, the biological environment. John Wiley, N.Y., 2ème Ed.,495 pp..

SCHLICHTING, H., 1979. Boundary layer theory. McGraw-Hill, N.Y., 817 pp..

STEENHUIS, T.S. et M.F. MILLER, 1986. Will drainage increase spring soil temperatures in cool humid climates? Am. Soc. Agricul. Engin., 29(6):1641-1646.

VAN DUIN, R.H.A., 1963. The influence of soil management on soil temperature wave near the surface. Inst. for Land and Water Mgt. Res., Wageningen, Tech. Bulletin 29.

WAGGONER, P.E., P.M. MILLER and H.C. DEROO, 1960. Plastic mulching-principles and benefits. Bull. No. 634, Conn. Agric. Exp. Stn., New Haven.

Les unités thermiques maïs dans la régie du maïs

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Pierre Filion

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec

Ce texte est tiré du bulletin technique d'agriculture Canada

P R O D U C T I O N D U M A I S G R A I N D A N S L E S U D - O U E S T D U Q U E B E C : M I S E A U P O I N T T E C H N I Q U E.

P. Martel, P. Filion, D. Choquette, M. Duplessis.

STRATEGIE DE SEMIS

Le producteur agricole n'a pas d'autre choix que de connaître et respecter le potentiel thermique de sa région s'il veut mettre toutes les chances de son côté pour réussir. **Pour produire un grain de qualité, il est important de le récolter à maturité et à un taux d'humidité relative n'excédant pas 30% (38).**

L'utilisation d'un hybride trop hâtif risque de donner un rendement moindre que celui d'un hybride adapté. De plus, la sénescence de cet hybride augmentera sa sensibilité à la verse s'il est récolté tardivement. Par ailleurs, l'utilisation d'un **hybride trop tardif** comporte le risque de produire un maïs de moins bonne qualité même si le rendement obtenu est équivalent ou supérieur à celui d'un hybride adapté.

Pour ces raisons, la classification des hybrides de maïs selon le temps nécessaire pour atteindre leur maturité est indispensable. Plusieurs systèmes de classification des hybrides de maïs sont utilisés à travers le monde soit: accumulation de degrés-jours avec limites inférieures de 6° ou 10°C en France, nombre de jours ou encore accumulation de degrés-jours avec limite inférieure de 10°C et limite supérieure de 30°C aux Etats-Unis, accumulation d'unités thermiques au Canada et en Angleterre.

LES UNITES-THERMIQUES-MAIS

Les unités-thermiques-maïs (UTM) (12) sont un outil qui nous permet de classifier les hybrides disponibles et de définir les différentes régions selon leur potentiel thermique. Le calcul des UTM est basé sur deux relations mathématiques décrivant le lien entre la température de l'air et la vitesse de développement du plant de maïs.

De plus en plus, on délaisse la méthode du nombre de jours qui est moins précise que celle des UTM (31). Par contre, il n'y a pas de consensus en ce qui a trait à la manière de cumuler les unités thermiques. La méthode développée en Ontario par Brown en 1963 (12) s'est

avérée aussi efficace que d'autres méthodes de calcul (17).

Les UTM sont utilisées depuis longtemps au Québec pour effectuer les recommandations d'hybrides de maïs et un bulletin technique faisant état d'une réévaluation de leur distribution au Québec a été produit par le C.P.V.Q. (22).

A partir des données météorologiques de 1971 à 1985, nous avons évalué les cumuls moyens d'UTM pour trois sites du sud-ouest du Québec. Pour ce faire, nous avons redéfini les dates de début et de fin de saison de croissance et avons cumulé annuellement les UTM disponibles à l'intérieur de la saison de croissance.

A) DATE DE DEPART POUR LE CALCUL DES UTM

Dans les Provinces Maritimes, le départ du comptage des UTM se fait à la date où la moyenne de 30 ans de la température de l'air est de 11,1°C. Dans les Prairies, on commence le 15 mai.

L'initiation de la germination du grain de maïs commence lorsque la température du sol atteint 10°C. Ce n'est qu'à partir de ce moment que le maïs se développe selon la chaleur qu'il reçoit. Idéalement, après le semis, le producteur devrait débuter le cumul des UTM aussitôt que la température de son sol atteint 10°C.

La température de l'air est plus facile à mesurer et est plus fiable que la température du sol. C'est pour cette raison que la relation suivante a été établie: la chaleur reçue du début du printemps jusqu'à la date à laquelle la température journalière moyenne de l'air atteint 12,8°C est assumée suffisante pour amener la température du sol à 10°C (13). Le comptage des UTM, en Ontario et au Québec, commence lorsque la température journalière moyenne atteint 12,8°C.

Cette date peut être déterminée selon plusieurs méthodes. Statistiquement, les dates obtenues en utilisant la méthode de la moyenne mobile de 12 jours ne diffèrent pas de celles obtenues avec celle de la moyenne mobile de 30 jours (comparaison de paires: t=0,12 pour l'Acadie de 71 à 85). Etant donné la plus grande rapidité de la première méthode c'est celle-ci que nous avons retenu dans la détermination de nos dates de départ.

Le tableau 2 nous donne les dates de départ pour le calcul des UTM pour nos trois sites d'observation.

B) DATE D'ARRÊT POUR LE CALCUL DES UTM

L'arrêt du cumul des UTM devrait se faire lorsque survient l'arrêt

de croissance du maïs. Les conditions météorologiques provoquant cet arrêt de croissance diffèrent d'un auteur à l'autre. Selon Daynard (17) l'arrêt de croissance pourrait survenir lorsque la moyenne des températures journalières maximales pour une semaine est de 13°C ou moins. Major et al. (30) considère -2°C comme étant une gelée mortelle.

L'arrêt du cumul des UTM varient aussi selon les auteurs consultés. Brown (13) arrête le cumul des UTM lorsque la probabilité de 10% d'un gel à 0°C est atteinte. Treidl (37) propose l'arrêt lorsque la température minimale moyenne est de 5,5°C.

Comme la méthode de Major et al. est plus facile d'utilisation par les producteurs nous l'avons choisi pour calculer la date d'arrêt de cumul des UTM.

Le tableau nous donne les dates d'arrêt de cumul des UTM pour nos trois sites d'observation.

C) CUMUL DES UTM ET DETERMINATION DE LA ZONE DE CROISSANCE

Nous avons cumulé les UTM, annuellement pour la période de 1971 à 1985, à partir des dates de départ et de fin de cumul déterminées selon les méthodes précédemment choisies , et ce pour chacun des trois sites.

A L'Acadie, de 1971 à 1985, on accumule en moyenne 2965 UTM. Mathématiquement, la moyenne correspond à un niveau de probabilité de 50%. La moyenne obtenue nous indique qu'une année sur deux, on obtiendra un cumul d'UTM supérieur à 2965 et qu'une année sur deux le cumul n'atteindra pas ce chiffre.

A partir de la moyenne et de l'écart type, il est possible d'évaluer les cumuls d'UTM correspondant à d'autres niveaux de probabilité. Le tableau 2, nous donne les cumuls d'UTM correspondant à différents niveaux de probabilité pour chacun des trois sites.

A L'Acadie, le cumul d'UTM correspondant à 80% de probabilité est de 2774. Il s'agit d'un cumul d'UTM plus sécuritaire étant donné qu'il sera atteint ou dépassé huit années sur dix.

Le producteur devrait utiliser le cumul d'UTM correspondant à des probabilités de 80 à 90% pour définir sa zone de croissance. Il ne faut pas oublier que, même si un certain nombre d'UTM est disponible dans une région, il existe, tels qu'exposés plus loin, des facteurs empêchant l'utilisation par la plante des UTM cumulées à la station météo la plus proche.

D) FACTEURS LIMITANT L'UTILISATION PAR LA PLANTE DES UTM CUMULEES DURANT LA SAISON.

Les UTM sont calculées à partir de températures mesurées sous abris météo réglementaires. La température influence grandement le développement de la plante. Comme nous l'avons vu précédemment, le calcul des UTM est basé sur le lien entre la température et la vitesse de développement du plant de maïs.

Beaucoup d'autres facteurs retardent le développement de la plante. Certains d'entre eux, seuls ou combinés, peuvent même provoquer un arrêt prématuré de croissance. Ces facteurs n'entrent toutefois pas dans le calcul des UTM. Parmi ces facteurs, on peut citer:

1- le délai de semis;
2- la profondeur de semis;
3- un mauvis drainage;
4- la compaction du sol;
5- les déficiences et/ou déséquilibres en éléments nutritifs;
6- les dommages foliaires dus au gel, à la grèle, etc;
7- les dommages dûs aux insectes, aux maladies, aux mauvaises herbes;
8- la réduction de la photopériode (ennuagement, ombre);
9- une population trop élevée;
10- la sécheresse

QUAND SEMER?

A) SEMIS TRES HÂTIF

1) Ensoleillement

La photosynthèse est fonction de la durée et de l'intensité de l'ensoleillement ainsi que de la surface foliaire exposée.

On note qu'au 21 avril, la plante dispose de la même quantité de lumière qu'au 21 août. Il est malheureusement impossible que la plante ait son maximum de surface foliaire en avril pour bénéficier de cette lumière. Toutefois, un semis hâtif permettra au plant de développer sa surface foliaire maximale le plus tôt possible et ainsi, utiliser pleinement les longues journées du début de l'été.

2) Survie de la semence

La semence mise en terre dans des conditions de froid et de grande

humidité a une capacité de survie de 2 semaines environ, mais ne dépassant pas 3 semaines (25; 3; 35). La date où, 5 années sur 10, le sol atteint la température de germination est le 16 mai. Selon cette théorie, le 26 avril est la date la plus hâtive pour effectuer les semis de maïs et conserver 50% de chance de réussite.

3) Gels printaniers

Les gels printaniers tardifs peuvent provoquer la mort des plants. En fait, plus le plant se rapproche du stade 6 feuille, plus il devient sensible au gel étant donné que le point de croissance est de plus en plus près de la surface du sol.

Le gel printanier peut, dans certains cas, endommager le feuillage sans toutefois causer la mort du plant. Tout comme c'est le cas des pertes de plants, les pertes de feuillage ne se traduisent pas directement en pertes de rendement. L'évaluation des pertes de feuillage doit s'effectuer quatre à sept jours après le gel. Cette attente permet d'éliminer toute ambiguïtée.

Il ressort clairement que l'importance de la défoliation dépendra du stade de développement pendant lequel elle survient. Les stades se rapprochant de la floraison sont plus sensibles à la défoliation. Jusqu'au stade 10 feuilles, une forte défoliation (75 à 100%) se traduira par une perte de rendement inférieure à 10%. Une défoliation ne dépassant pas 25% n'aura pas d'effets graves quel que soit le stade où elle se produit.

B) PERIODE OPTIMALE DE SEMIS ET DELAI DE SEMIS:

Etant donné que, dans le sud-ouest du Québec, la date moyenne du début de la saison de croissance est le 16 mai et connaissant la survie de la semence, on peut dire que la période optimale de semis pour les hybrides de pleine saison se situe entre le 5 et le 15 mai. Selon le C.P.V.Q. les semis effectués après la mi-mai affichent une diminution de rendement et un taux d'humidité élevé à la récolte.

Afin de s'assurer un bon rendement tout en conservant une bonne qualité de grain, l'agriculteur devra déduire des UTM pour chaque jour de délai de semis. Le tableau 3 nous indique combien d'UTM/jour sont à déduire selon la date pour le sud-ouest du Québec.

Voici un exemple: un agriculteur de L'Acadie ne peut semer que le 27 mai. La date moyenne du début de la saison de croissance pour sa

région est le 16 mai. Il devra déduire la somme d'UTM suivante:

27 mai - 25 mai = 2 jours x **20 UTM/jour** = **40 UTM**
25 mai - 16 mai = 9 jours x **15 UTM/jour** = **135 UTM**

Pour un total de **175 UTM**

Cet agriculteur devra donc soustraire 175 UTM du total cumulé dans sa région afin de déterminer le meilleur hybride à semer.

Avec tous ces éléments, nous pouvons conclure qu'à partir du 26 avril, on peut commencer à semer le maïs. L'obtention de la maturité tôt en saison résulte en une récolte plus facile, des coûts de séchage minimaux ainsi qu'une réduction des probabilités de pertes de rendement dûes à un gel précoce. Le labour d'automne se fera avec un minimum de compaction du sol s'il est effectué tôt en saison.

LE TAUX DE SEMIS

Le rendement est constitué du poids des grains sur chaque plant multiplié par le nombre de plants.

Selon cette affirmation, on pourrait croire qu'il suffit d'augmenter le nombre de plants pour obtenir un meilleur rendement. La réalité n'est pas si simple.

Dans un champ à population normale, le taux de photosynthèse diminue du haut au bas du plant passant de 4,0 à 2,2 à 1,0, principalement à cause de la diminution de l'intensité lumineuse (28). Dans le cas des champs à forte population, une faible pénétration de la lumière ainsi que des systèmes radiculaires réduits tendent à diminuer les photosynthétats à l'intérieur de la plante.

Il faut être prudent lorsque l'on désire augmenter le taux de semis même avec un hybride qui normalement se rend à maturité. Il est très important de suivre les recommandations de taux de semis proposées par la compagnie. Il faut évaluer la population optimale pour chaque champ en tenant compte à la fois de l'hybride que l'on veut y semer et des conditions du champ. Le taux maximal recommandé est utilisé dans les champs à potentiel élevé où le semis peut être effectué tôt.

REPRENDRE LE SEMIS

A la levée, il peut arriver qu'on observe un nombre de plants infé-

rieur à la population visée. Quelles sont alors les alternatives qui s'offrent aux producteurs?

On peut dire qu'en général, s'il reste 70% et plus de la population visée, il n'est pas rentable de resemer puisque les pertes encourues ne sont que de l'ordre de 10%. Financièrement, ces pertes sont moindres que le coût d'un nouveau semis.

S'il reste moins de 70% des plants initialement prévus, plusieurs points sont à étudier avant de prendre une décision. L'agriculteur doit choisir un nouvel hybride adapté au nombre restreint d'UTM disponibles étant donné la date plus tardive du nouveau semis. Suite à ce choix, il doit comparer le revenu potentiel de l'hybride adapté avec le revenu potentiel de ce qui reste dans son champ. Il ne doit pas négliger le coût du nouveau semis dans son évaluation. Plus la saison est avancée, plus la perte dans le champ doit être élevée pour justifier une intervention.

LIGNE DE MATURITE OU LIGNE D'AMIDON

Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer et prédire la maturité du maïs. L'humidité du grain, telle qu'évaluée par les humidimetres, sert à planifier la date de récolte. Le nombre de jours à partir de la levée ou de l'émission des soies ainsi que le nombre d'unités de chaleur (degré-jours, unités-thermiques-maïs) servent à prédire la date de maturité. La formation du point noir est communément acceptée comme étant un indicateur de maturité.

L'utilisation de ces méthodes comporte certains inconvénients. La détermination de l'humidité demande du temps et est plus ou moins précise lorsque l'humidité est supérieure à 25%. Le nombre de jours est un indice pouvant varier jusqu'à 25 jours pour un hybride donné. Le cumul d'unités de chaleur ne tient pas compte de variations des conditions de croissance autres que la température. Comme le point noir est une étape finale du développement du maïs, il ne peut servir à prédire la maturité.

OBSERVATION DE LA LIGNE DE MATURITE

A) DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE

L'Observation de la ligne de maturité est une technique très adéquate pour déterminer et prédire la maturité du maïs. La ligne de maturité est formée par l'interface liquide-solide à l'intérieur du grain et témoigne

de la transformation des sucres en amidon. L'accumulation de la matière sèche débute dans la partie supérieure du grain. A l'accumulation de matière sèche correspond une baisse d'humidité interne. Cette perte d'humidité cause une dépression de la partie supérieure du grain que l'on appelle "indentation".

Au début de la solidification, la ligne de maturité n'est pas visible extérieurement. Lorsqu'il y a suffisamment de matière sèche accumulée, peu après l'indentation de tous les grains, la ligne de maturité apparaît. Sa progression peut être suivie dans le temps, du bout du grain à sa base. Lorsque la ligne de maturité approche de la base du grain, elle disparaît même s'il reste encore de petites quantités de liquide à l'intérieur. Ce n'est qu'en pressant fermement la base du grain qu'il est possible de détecter ce liquide.

Crookston (16) considère que la position de la ligne de maturité est un très bon indicateur de maturité pour les raisons suivantes:

1- La disparition de toute la partie laiteuse du grain de maïs correspond au maximum de matière sèche accumulable.

2- La ligne de maturité est un indicateur visuel facile à observer. L'évolution de la ligne de maturité pouvant être suivie dans le temps, il est donc possible de prédire sa disparition.

3- L'évolution de la ligne de maturité est un outil permettant à chaque producteur de prédire la maturité de ses hybrides.

4- La ligne de maturité à 50% est un bon indice pour planifier la récolte étant donné que l'humidité du grain correspondante est d'environ 40%. Si la photosynthèse cessait complètement à ce stade,le maïs produirait quand même 94% de son rendement normal.

5- La détermination de la position de la ligne de maturité est très simple.

Dans des conditions normales, la disparition de tout le liquide du grain et la formation du point noir se produiront simultanément. Pourtant, il peut arriver que l'un des deux phénomènes arrive bien avant l'autre. Dans ce cas, le premier phénomène à se produire est l'indicateur d'arrêt d'accumulation de matière sèche dans le grain. Lorsque le point noir se forme et qu'il reste beaucoup de liquide à l'intérieur du grain, la ligne de maturité disparaît et le grain devient entièrement pâteux. Ces grains n'atteindront pas leur plein potentiel d'accumulation de matière sèche. De plus, même si ces grains pâteux réussissent, tant bien que mal, à abaisser leur taux d'humidité à moins de 30%, ils

auront tendance à se briser lors de la récolte et le poids au boisseau sera inférieur.

Les observations qui suivent ont été faites pour vérifier la validité de la méthode de Crookston dans le sud-ouest du Québec.

Résultats. Le tableau 4 montre les résultats obtenus quant aux différents stades de développement du 3950. Le départ du calcul des UTM a varié avec un départ le 21 mai en 84 et le 12 mai en 85. Malgré des dates de départ différentes, on voit qu'il faut environ le même nombre d'UTM pour que l'hybride Pioneer 3950 complète son développement.

En moyenne l'hybride 3950 demande 1500 UTm pour atteindre 50% des panicules émergées, 1800 UTM pour parvenir à 50% de brunissement des soies et 2800 UTM pour atteindre le stade 50% ligne de maturité (LM).

Le tableau 5 montre les pourcentages d'humidité et d'accumulation de matière sèche dans le grain en fonction de la position de la ligne de maturité moyenne pour l'hybride Pioneer 3950.

Les résultats obtenus confirme le principe de Crookston qui veut que lorsque la LM atteint 50%, l'humidité du grain est autour de 40% et qu'environ 90% du rendement en matière sèche des grains est obtenu, indépendamment des années.

L'observation de l'évolution de la ligne de maturité dans le temps révèle que lorsque celle-ci se situe entre 30 et 50% du grain, son taux de progression est de 1 à 2% par jour.

Le tableau 6, nous montre le développement des différents hybrides tel qu'observé à l'Acadie en 1985.

B) COMMENT DETERMINER LA POSITION DE LA LIGNE DE MATURITE

La détermination de la position de la ligne de maturité dans un grain est très simple. Il s'agit en fait dpévaluer la longueur de la partie solide par rapport à la longueur totale du grain.

La détermination de la position moyenne de la ligne pour un champ donné implique l'utilisation d'une méthode d'échantillonnage qui tient compte de l'ensemble du champ.

La méthode qui suit est fort simple:

Pour chaque hybride:

1- récolter l'épi principal sur dix plants choisis au hasard, au moins 10 rangs à l'intérieur du champ pour éviter les effets de bordure.

Pour chaque épi:

2- briser l'épi au 1/3 supérieur.
3- enlever 5 grains du côté lisse (partie supérieure)
4- après avoir perforé l'enveloppe du grain, mesurer, avec une petite règle, la partie solide des grains. Faire une moyenne.
5- mesurer la longueur totale des grains. Faire une moyenne.
6- calculer le poucentage que constitue la longueur moyenne de la partie solide (calculée en 4) par rapport à la longueur moyenne du grain (calculée en 5).
7- faire la moyenne des dix pourcentages calculés en 6.

En utilisant cette méthode, on obtient une bonne estimation de la position de la ligne. Il est important de noter que, même si on peut voir la ligne de maturité à travers l'enveloppe du grain, il est préférable de perforer le grain pour bien situer la partie solide. Avec certains hybrides l'observation à travers l'enveloppe conduit à une estimation erronée.

C) QUAND ET POURQUOI UTILISER CETTE TECHNIQUE

Le tableau # 7, nous donne les dates pour lesquelles les probabilités de gel à $-2^{o}C$ sont de 10% et 50% pour nos trois sites expérimentaux. La période de croissance se terminant à la date correspondant à 10% de probabilité de gel constitue la "période de moindre risque".

Comme nous l'avons déjà vu, au stade "ligne de maturité = 50%", un rendement final d'au moins 90% est assuré. Les hybrides qui atteingnent ce stade à l'intérieur de la "période de moindre risque" sont à recommander. Pour déterminer si un hybride est adapté, il suffit de vérifier la position de la ligne avant la date de 10% de probabilité de gel.

La période s'échelonnant de la "période de moindre risque" jusqu'à la date effective du gel, servira, les années où elle existe, à la maturation complète du maïs et à la perte d'humidité. Plus la perte d'humidité s'effectue tôt en saison, plus la capacité de séchage de l'air est grande.

BIBLIOGRAPHIE

1. Anonymous. 1982. Sols. Les façons culturales. Conseil des Productions Végétales du Québec. AGDEX 517. 42 pp.
2. Anonymous. 1984. Maïs Culture. Conseil des Productions Végétales du Québec. 21 pp.
3. Anonymous. 1985. Management 2 000. Corn Management Guide. Daryland Seed Co. Inc. 21 pp.
4. Aldrich, S.R., Scott, W.O., Leng, E.R. 1982. Modern Corn Production. Second Edition A. & L. Publications USA 378 pp.
5. Barloy, J. 1983. Biologie de l'élaboration du rendement. In: Physiologie du maïs p. 163-180, Ed. INRA Paris.
6. Barrière, Y. 1985. Aspects physiologiques de la pourriture des tiges du maïs. Revue d'Agronomie 4: 361-368.
7. Barrière, Y., Gay,J.P. 1983. Approche physiologique de la sénescence du maïs. In: Physiologie du maïs p. 355-366. Ed INRA, Paris.
8. Berbecel, O, Eftimescu, M. 1973. Effect of agrometeorological conditions on maize growth and development p. 10-31. Inst. Meteor. Hydrol. Bucharest.
9. Bloc, D., Gay, J.P., Gouest, J.P. 1983. Evolution de la teneur en eau et dupoids de 1 000 grains pendant la maturation du maïs. In: Physiologie du maïs. p. 135-146. Ed. INRA, Paris.
10. Bonhomme, R. 1983. Mise en palce des appareils foliaire et racinaire. In: Physiologie du maïs p. 63-86, Ed. INRA, Paris.
11. Brickbauer, E.A. 1978. Corn plant development. Field crop 28.1. Agron. 1/78. Cooperative Extension Programs. Univ. of Wisconsin. 5 pp.
12. Brown, D.M. 1963 A heat unit system for corn hybrid recommendations. Proc. 5th Nat. Conf. Agric Meteorol, Lakeland, Florida 11 pp.
13. Brown, D.M. 1978. Heat units for corn in southern Ontario. Factsheet, Agdex 111/31. Ontario Ministry Agric. Food, Toronto, Ont. 4 pp.
14. Carney, S. 1980. The corn maturity rating systems. Crops Quarterly, 6:6-7.
15. Carter,P. 1986. Friend of foe? Do corn tillers help or hurt yields. Crop and Soils 38: 16-18.
16. Crookston, R.K., Afuakwa, J.J., Jones R.H. 1982. Visuat maturity indicators for corn-kernel milk line more useful than black layer. Proc. 37th Annual corn & Sorghum Research Conference p. 176-189.
17. Daynard, T.B. 1972. Relationships among black layer formation, grains moisture percentage, and heat unit accumulaiton in corn. Agron. J., 64:716-719.
18. Derieux, M., Bonhomme, R., Ruget, F., Duburcq, J.B. 1983. Influence du génotype et du milieu sur le nombre d'ovules présents à la floraison. In: Physiologie du maïs. p. 117-122. Ed INRA, Paris
19. Desvignes,P., Soyer, J.P., 1980. Fertilisation: règles et normes. Agromaïs, Cultivar-Spécial maïs. 133: p. 51.z.
20. Dodd,J.L. 1980. The Role of plant stresses in development of corn. Plant Diseases, 64: 833-837.
21. Dodd, James L. 1981. Understanding corn stalk rot. Pag Seeds. Pag-298, 11 pp.
22. Dubé, P.A., Castonguay,Y., Côté, J., Léonard, R. 1984. Réévaluation de la distribution des unités-thermiques maïs au Québec. Bulletin technique No 7, CPVQ, MAPAQ 49 pp.
23. Duplessis, D.A.. Dijkhuis, F.J. 1967. The influence of the time laq between pollen shedding and silking on the yeild of maize. S. Afr. J. Agric. Sci. 10:667-674.
24. Gay J.P. 1983. Le cycle du maïs. In: Physiologie du maïs. p. 1-12. Ed. INRA Paris.
25. Gay, J.P. Roger, J.P. 1982. Il faut préserver le potentiel de départ. Perspective Agricole, 63: 1-8.

26. Hanway J.J. 1966. How a corn plant develops. Special Report. No 48. Iowa State University. COOP Ext. service. Ames, Iowa. 17 pp.
27. Hicks, D.R., Geadelman J.L., PEterson, R.H. 1975. Drying rates of frosted maturing maize Agron. J. 68: 452–455.
28. Hoyt,P., Bradfield, R. 1962. Effect of varying leef area by partial perforation and plant density on dry matter production in corn. Agron. J.p. 523–525.
29. Kilcer, T. 1986. Early bird gets the corn or how to increase yields 10 to 25%. Newsletter. Crop Soil News. Cooperative Ext. Rensselaer country. Cornell University, May. 2 pp.
30. Major, D.J. Pelton, W.L., Shaykewich, C.F., Gage, S.H., Green, D.G. 1976. Heat units for corn in the Praires. Agriculture Canada, Canadex 111.070 5 pp.
31. Medersky, H.J., Miller, M.E., Weaver, C.R. 1973. Accumulated Heat units for classifying corn hybrid maturity. Agron. J., 65: 743–747.
32. Murrell, L.J. 1984. Agri-Views, 4. No 2. Summer. 1 pp.
33. Shaw, R.H. 1949. Studies on corn phenology and maturity in Iowa. Ph. D. Thesis, Iowa State Univ. Ames.
34. Shaw, R.H. 1977. Clamatic requirement. In: Corn and corn imporvement p. 591–623. Ed. G.F. Sprague. Publ. Amer. Coc. Agron. Madison. Wisconsin, USA. 774 pp.
35. Thomas, E. 1987. Time to plant corn. Newsletter, May, p.5. W.H. Miner Agric. Research Institute.
36. Tollenaar. M. 1977. Sink source relation ships during reproductive development in maize. A review. Maydica 22:49–75.
37. Treidl, R.A. 1977. Zonation for maize (corn) corn growing in Canada. In: Agrometeorology of the maize (corn) crop. World Meteorol, Organ. No 481. p.27–39. Geneva.
38. Vyn, J.V. 1986. Improving corn quality in Ontario. Ontario Corn Producer, 2: 6–7.

TABLEAU # 1

Dates moyennes de début et de fin de saison de croissance à Coteau du Lac, L'Acadie et St-Anicet

Site	Début	fin
Coteau du Lac	17 mai	7 octobre
L'Acadie	16 mai	13 octobre
St-Anicet	16 mai	9 octobre

TABLEAU # 2

Cumuls d'UTM correspondant à divers niveaux de probabilité pour chacun des trois sites

Site	Niveaux de probabilité								
	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Coteau du Lac	2621	2693	2745	2789	2830	2871	2915	2967	3039
L'Acadie	2675	2774	2846	2908	2965	3022	3084	3156	3255
St-Anicet	2823	2890	2938	2979	3017	3055	3096	3144	3211

TABLEAU # 3

UTM CUMULEES PAR JOUR SELON LA DATE

date	Cumul moyen UTM/jour
début de la saison de croissance au 25 mai	15
26 mai et dates ultérieures	20

TABLEAU # 4

Stades de développement de l'hybride Pioneer 3950

Site	semis	émer	1e f	6e feuille		panicule		soies brunes		50% LM	
	date	date	date	date	UTM	date	UTM	date	UTM	date	UTM
AD 84	10/5	——	——	14/6	493	23/7	1462	3/8	1742	18/9	2736
RD 84	18/5	——	——	17/6	588	19/7	1400	1/8	1737	17/9	2808
RL 84	24/5	——	——	18/6	506	22/7	1326	1/8	1589	21/9	2706
AD 85	2/5	17/5	22/5	13/6	586	23/7	1488	2/8	1713	20/9	2721
JVS85	11/5	23/5	26/5	16/6	597	30/7	1604	10/8	1860	1/10	2829
RD 85	9/5	19/5	24/5	13/6	570	26/7	1575	6/8	1824	23/9	2823
L'ACA	2/5	——	25/5	14/6	579	24/7	1523	6/8	1833	27/9	2879

N.B. 50% des plants sont au stade indiqué.

TABLEAU # 5

Correspondance entre la ligne de maturité, l'humidité relative et le pourcentage de matière sèche pour l'hybride Pioneer 3950

année	LM	humidité relative du grain	Pourcentage matière sèche
1984	40	42	82
	49	39	88
	59	37	90
1985	40	44	79
	49	38	88
	60	35	93

TABLEAU # 6

Correspondance entre la ligne de maturité, l'humidité relative et le pourcentage de matière sèche pour les hybrides observés à l'Acadie en 1985

Hybride	LM	Humidité relative du grain	Pourcentage de matière sèche
Pioneer 3950	49	37	90
Pioneer 3925	49	38	88
Coop 2645	50	39	87
Pride 2204	48	39	87
Funk 280	50	38	88
Cargill Sx123	50	38	89

TABLEAU # 7

Dates de 10% et 50% de probabilité de gel pour chacun des trois sites

Site	Probabilité	
	10%	50%
Coteau du Lac	26 septembre	7 octobre
L'Acadie	27 septembre	13 octobre
St-Anicet	28 septembre	9 octobre

Utilisation des prévisions météo en grandes cultures

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Raymond Laniel

Producteur agricole

UTILISATION DES PRÉVISIONS MÉTÉO EN GRANDES CULTURES

1. Description de l'entreprise, avec photo, de la station de météo de la radio de monsieur Laniel et son utilisation et les lieux d'utilisation.

2. L'utilisation de la radiométéo:

   a) période d'écoute

   b) lieu d'écoute

   c) l'échange qui a lieu entre monsieur Laniel et les autres agriculteurs sur les prévisions

   d) commentaires sur le réseau américain (Burlington) et le réseau canadien et leurs prévisions, informations fournies.

3. Utilisations des prévisions:

   a) Le semis:

      afin de déterminer la superficie à préparer puisque

      - un champ préparé doit être semé avant une pluie
      - pour commander les fertilisants 87 heures d'avis est nécessaire:

        les pluies pourraient laver les engrais en surface. Exiger d'autres passages sur le champ augmentant les risques de compaction et croutage.

   b) Les herbicides:

      - pour déterminer la période d'arrosage tenant compte des délais sans pluie exigés par le fabricant pour les produits contacts;
      - les risques de dommages à la culture dans des conditions de température trop élevées ou basses;
      - pour les produits appliqués sur le sol, la nécessité de faire un passage supplémentaire afin d'incorporer les produits qui nécessitent des précipitations pour travailler.

c) Le foin, prévisions pour

- la superficie à couper
- la séquence, c'est-à-dire poursuivre la coupe dans d'autres champs lorsque la première partie sèche
- le besoin d'avoir trois (3) jours consécutifs pour le séchage.

4. Utilisation d'un exemple d'un arrosage d'herbicides à être répéter à cause de la pluie:

a) coût d'application

b) perte de rendement due aux mauvaises herbes

c) coût d'une deuxième application

d) dommage causé par l'application

RAYMOND LANIEL

Phytoprotection des vergers

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Michèle Roy

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec

L'AGROMÉTÉOROLOGIE APPLIQUÉE À LA PHYTOPROTECTION DES VERGERS

Michèle Roy, agronome-entomologiste
Service de recherche en phytotechnie de St-Hyacinthe, M.A.P.A.Q.

Introduction

En pomiculture, les maladies et les ennemis du pommier sont nombreux et nécessitent des programmes de phytoprotection complexes. Par exemple, la tavelure peut occasioner des dégâts pouvant atteindre 90-100% de la récolte dans un verger sans protection. Certains insectes peuvent également occasionner des dégâts importants à la récolte si aucun traitement n'est effectué. C'est le cas du charançon de la prune (38% de dégâts à la récolte), du carpocapse de la pomme (17.5%), de la mouche de la pomme (17%) et des punaises phytophages (17%) (Vincent et Mailloux 1985). Faut-il traiter?, à quel moment?, et avec quoi? Telles sont les trois questions essentielles que se posent les pomiculteurs qui essaient d'obtenir un pourcentage maximum de fruits de qualité.

Traditionnellement les pomiculteurs ont toujours eu recours à une lutte chimique intensive. Cependant depuis quelques années, à cause de contraintes économiques et environnementales mais également grâce aux efforts de la recherche, la protection phytosanitaire des vergers de pommiers québécois a évolué vers une conception de lutte intégrée . Une telle approche préconise l'emploi combiné et raisonné de toutes les méthodes de lutte disponibles, contre les ennemis du pommier, de façon à maintenir leurs populations à un niveau assez bas pour que les dégâts qu'ils occasionnent soient économiquement tolérables.

La mise en pratique de la lutte intégrée nécessite une connaissance approfondie de la biologie des ravageurs et celle de leurs ennemis naturels dans l'écosystème que constitue le verger. La lutte intégrée repose sur un programme de dépistage des populations de ravageurs ainsi que sur l'utilisation de renseignements d'ordre climatique et phénologique.

Le but de cette présentation est d' illustrer le rôle indispensable de l'agrométéorologie dans l'aménagement actuel de la lutte contre les ennemis des pommiers au Québec.

Le développement de l'agrométéorologie dans la phytoprotection des vergers au Québec.

Au Québec, le Réseau d'Avertissements phytosanitaire du pommier implanté depuis 1975, a développé l'utilisation de l'agrométéorologie dans les vergers par la collecte de données biologiques, phénologiques et climatiques et leur traitement, afin d'être en mesure de régionaliser les recommandations et d'apporter une plus grande prévision dans les interventions phytosanitaires à effectuer (Emond 1975). Le Réseau a aussi permis de créer une banque de

données historiques qui fait présentement l'objet d'analyses par des chercheurs du M.A.P.A.Q. et d'Agriculture Canada.

Le réseau pommier compte à l'heure actuelle onze stations d'observations installées dans certains vergers représentatifs des grandes régions pomicoles du Québec:

Deux-Montagnes: St-Joseph du Lac et Oka
Sud-Ouest de Montréal: Franklin, Hemmingford et L'Acadie
Sud-Est de Montréal: Farnham, Frelisghburg, Rougemont, Ste-Sabine, St-Paul d'Abbotsford
Québec: Ste-Famille de l'Ile d'Orléans et St-Antoine de Tilly

Chaque station est équipée d'un d'hygrothermographe, d'un humectographe et d'un pluviographe pour la prise de données météorologiques. Le dépistage des insectes est effectué à l'aide de pièges à phéromones ou de pièges appâts. Les insectes qui font l'objet d'une surveillance régulière sont: la noctuelle du fruit vert, le carpocapse de la pomme, la tordeuses à bandes rouges, la tordeuse du pommier, la tordeuse à bandes obliques, le pique-bouton, la sésie du cornouiller, la mouche de la pomme, l'hoplocampe des pommes et la punaise terne.

Les données sur le dépistage des ravageurs, le développement phénologique du pommier et les données météorologiques (température, humidité et précipitations) provenant de ces stations sont acheminées à chaque semaine, de mars à octobre, à la station de recherche de Farnham (MAPAQ)). Les données sont ensuite traitées par ordinateur en collaboration avec le Centre météorologique d'Environnement Canada à Montréal. Les analyses de ces données sont transmises au groupe de travail en protection du pommier qui regroupe les spécialistes oeuvrant dans le domaine de la phytoprotection des vergers au Québec. Les recommandations phytosanitaires qui en découlent sont transmises aux producteurs par les avertissements phytosanitaires ou par les répondeurs téléphoniques des régions.

Utilisation de l'agrométéorologie pour lutter contre la tavelure.

La protection des vergers de pommiers contre la tavelure du pommier est le souci majeur des pomiculteurs québécois. En effet cette maladie provoquée par *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint., un ascomycète pathogène des feuilles et des fruits, sévit à l'état endémique et constitue une menace constante. Le coût des traitement fongicides requis pour lutter contre la tavelure représente généralement plus de la moitié des coûts en pesticides (Bostanian et Coulombe 1986).

La tavelure hiverne sous forme de périthèces immatures dans le mésophylle des feuilles tavelées qui jonchent le sol du verger à l'automne. Au printemps, les ascospores formées dans ces périthèces sont éjectées durant les pluies et ce jusqu'à l'épuisement de la quantité formée. Ces ascospores causent alors

les infections primaires si le feuillage des pommiers demeure mouillé pendant une période de temps minimale qui varie selon la température. (St-Arnaud et al. 1985). Les infections primaires sont fréquentes depuis le stade du débourrement jusqu'au début du mois de juillet. Elles se manifestent sous formes de taches sur les feuilles et les producteurs doivent effectuer plusieurs traitements fongicides. Si les infections primaires n'ont pas été contrôlées adéquatement, il y a production de conidies ou spores d'été durant tout l'été. Ces infections secondaires obligent les pomiculteurs à continuer les traitements fongicides de façon régulière jusqu'en fin de saison.

Le système traditionnel de lutte contre la tavelure consiste à garder le feuillage des pommiers constamment couvert de fongicides durant toute la période des infections primaires afin de prévenir le développement de toute infection (Cinq-Mars 1952). Ce genre de programme est efficace mais il amène le pomiculteur à effectuer un nombre élevé de traitements dont certains peuvent s'avérer inutiles.

La mise au point d'une méthode de lutte utilisant le pouvoir éradicant de certains fongicides et se basant sur la connaissance des périodes d'infections et de leur gravité a permis une efficacité accrue des interventions ainsi qu'une diminution de leur nombre . Les traitements curatifs sont appliqués seulement s'il y a une période d'infection déclarée. Selon cette méthode le pomiculteur doit d'abord déterminer, à partir de certaines données climatiques, s'il y a eu infection puis choisir le fongicide en fonction de la période qui lui reste pour intervenir. La pluie, qui dissémine les ascospores doit tenir mouillé le feuillage suffisament longtemps, à une température convenable, pour qu'ils germent et que leur mycélium pénètre sous la cuticule des feuilles (Coulombe 1984).

La précipitation, la température et la mouillure des feuilles sont donc les rouages principaux du mécanisme des infections de tavelure. Les appareils de mesure de ses trois paramètres sont : un humectographe et un hygrothermographe ou un thermohygrohumectographe (combinaison des deux appareils précédents) ainsi qu'un pluviomètre ou mieux encore un pluviographe pour permettre l'enregistrement du début et de la fin d'une période de pluie. Les instruments sont placés directement dans le verger à l'endroit le plus favorable au développement de la maladie. Les informations recueillies à partir de cet appareillage sont ensuite interprétées en utilisant la table de Mills (Mills 1944).

Voici comment fonctionne la table de Mills: d'abord on doit supposer que la précipitation est d'au moins 1 mm, que la température moyenne de la période de mouillure est supérieure à 1°C et que l'humidité est au dessus de 85% durant la période d'incubation. Par exemple, à une température moyenne de 15°C, s' il y a eu 13 heures de mouillure on est en présence d'une infection moyenne mais si cette période a été de plus de 20 heures, l'infection est grave. Sous nos conditions il a été démontré qu'une période d'incubation peut être interrompue par une période de 4 heures sans pluie si l'humidité relative est inféreure à 85%, annulant l'infection qui était en cours et le traitement fongicide. Cette méthode est fort intéressante mais elle requiert de la part du producteur

beaucoup de précision et d'attention. Les doses de fongicides doivent être rigoureusement respectées et le feuillage doit être couvert complètement et uniformément de fongicide dans les limites de temps d'éradication du produit (Coulombe 1984). L'utilisation de données climatologiques classiques a permis la mise en oeuvre d'une lutte curative plutôt que préventive, bien qu'en pratique les deux méthodes sont utilisées en combinaison. Par exemple, au printemps, il semble de plus en plus évident qu' un traitement anti-tavelure doit être appliqué dès l'apparition de vert sur les premiers bourgeons afin d'obtenir une protection adéquate du feuillage.

Depuis 1983, de nouveaux appareils agrométéorologiques basés sur la micro-électronique sont disponibles pour lutter contre la tavelure (ex: Apple Scab, Agri-Scribe). L'un d'eux a même été programmé pour effectuer le calcul du nombre de degrés-jours, déterminer les infections de tavelure et indiquer les recommandations les plus appropriées. Ces appareils ont été comparés avec les instruments de mesure conventionnels. Les résultats obtenus ont été très encourageants. Cependant l'utilisation des nouveaux appareils n'est pas encore recommandée par les membres du groupe de travail sur le pommier à cause du manque de fiabilité qu'ils démontrent en certaines occasions.

Le développement d'un modèle bioclimatique prédisant la maturité des périthèces qui projettent les ascospores sur la végétation au cours d'une pluie et la date correspondant à la fin de la période d'éjection des ascospores permettrait au pomiculteur d'aller encore plus loin dans la gestion phytosanitaire de son verger. Il pourrait désormais déterminer la date d'arrêt des traitements fongicides dès l'épuisement de la libération annuelle des ascospores et sauver davantage de traitements. Présentement l'arrêt des traitements à la mi-juillet est tout à fait hypothétique. Une étude réalisée à la ferme expérimentale d'Agriculture Canada à Frelisghburg, a permis d'établir des équations mathématiques entre le pourcentage d'asques vidées et les précipitations ou les degrés-jours. La validation du modèle mis au point à Frelisghburg est en cours afin qu'il puisse être applicable dans les autres régions pomicoles (St-Arnaud et al. 1984).

Dans le cas de la tavelure l'utilisation des données climatiques régionales peut servir d'indicateur mais elle est inadéquate au niveau local. En effet les paramètres utilisés pour calculer la présence d'une infection de tavelure peuvent varier beaucoup d'un verger à l'autre, selon les vents, la topographie et l'exposition. Aussi chaque pomiculteur aurait intérêt à installer ses propres appareils de mesure pendant toute la période de danger de contamination primaire.

L'utilisation de modèles prévisionnels phénoclimatiques

La prévision à l'aide de modèles phénoclimatiques est appelée à devenir un des outils stratégiques de la lutte intégrée, puisqu'elle permettra de mieux appréhender l'évolution des maladies et des ravageurs du pommier. Il existe une relation étroite entre le climat, le développement du pommier et le développement de ses ravageurs. Voici quelques exemples du synchronisme

qui existe entre le développement saisonnier de certains ravageurs et les stades phénologiques du pommier: les papillons adultes de la noctuelle du fruit vert font leur apparition à la période de débourrement du pommier, les oeufs du tétranyque rouge éclosent au stade du bouton rose, les adultes du charançon de la prune migrent dans les vergers après la période de floraison (Paradis 1981).

L'utilisation de modèles phénoclimatiques permet de prévoir la date d'apparition des différents stades de développement du pommier ainsi que des ravageurs qui y sont associés. Certains traitements phytosanitaires sont basés sur ces stades repères. Par exemple, contre la noctuelle du fruit vert un insecticide est recommandé au stade du bouton rose tandis que contre le charançon de la prune la période de traitement se situe au stade du calice.

Des programmes informatisés ont été mis au point aux cours des dernières années grâce aux travaux de recherches effectuées dans le cadre du Réseau d'Avertissements phytosanitaires du pommier. Ces programmes sont fondés sur les observations recueillies dans les différents postes d'observations situés dans les principales régions pomicoles du Québec, ainsi que sur des modèles phénoclimatiques développés à partir de certains seuils et constantes thermiques (Trottier 1977, Langlois 1985). Les programmes sont appliqués avec la collaboration du Centre météorologique du Québec d'Environnement Canada à Ville St-Laurent.

Certains programmes permettent d'acheminer les données dans l'ordinateur à chaque semaine tandis que d'autres analysent ces données. Deux programmes font des sommaires des résultats obtenus pour l'année en cours, en comparaison avec l'année précédente et la moyenne des dix dernières années. Ainsi le programme " Analyse-météo" traite les précipitations, l'accumulation des degrés-jours et l'état d'avancement de la saison. Quant au programme " Analyse-bio" , il produit un sommaire des résultats de dépistage: première capture, fluctuations et importance des populations.

Un autre programme appelé "Analyse avis des pommeraies" utilise des modèles prévisionnels phénoclimatiques connus pour prévoir plusieurs jours à l'avance le déroulement d'événements phytosanitaires critiques dans la gestion des vergers de pommiers. Ces modèles sont essentiellement basés sur l'accumulation des degrés-jours à partir d'un seuil prédéterminé. Les modèles phénoclimatiques présentement disponibles permettent de prévoir deux semaines à l'avance et ce pour chacun des postes d'observation, les dates d'apparition de cinq stade-repères du pommier (débourrement, débourrement avancé, bouton rose, pleine floraison et calice). Des modèles existent également pour déterminer l'apparition des oeufs du tétranyque rouge ainsi que des insectes suivants: mineuse marbrée, carpocapse, mouche de la pomme, tordeuse à bandes rouges, tordeuse à bandes obliques, tordeuse du pommier et punaise terne.

Comme ces modèles sont basés exclusivement sur les degrés-jour , ils offrent actuellement une précision très variable. Par exemple le modèle

phénoclimatique du pommier permet de prévoir avec une bonne précision les prévisions faites deux semaines à l'avance pour les stades hâtifs (débourrement et débourrement avancé) et une semaine à l'avance pour les stades tardifs (bouton rose, pleine floraison et calice). Par contre le modèle phénoclimatique de la mouche de la pomme est peu fiable puisqu'il existe de grands écarts entre les prévisions et les observations réelles. L'imprécision de la prédiction de plusieurs modèles phénoclimatiques de ravageurs limite actuellement leur utilisation pratique. Pour l'améliorer il faudrait entreprendre des études plus poussées et ajouter à ces modèles d'autres variables telles que: température du sol, photopériode, taux d'humidité de l'air et du sol, etc... (Langlois et Dubé 1984).

Aspect économique et protection de l'environnement de l'approche utilisée

La conséquence la plus directe de l'application de la lutte intégrée est la réduction du coût de la protection phytosanitaire des vergers. Elle représente une économie non négligeable sur les dépenses même si le pomiculteur doit assumer certains coûts de surveillance et même s'il doit encourir le risque d'une dépréciation sur une faible partie de sa récolte. En effet le coût de la protection phytosanitaire compte pour un pourcentage important dans le prix de revient des fruits. Les coûts de pesticides à eux seuls peuvent représenter 20 à 30% du coût de production du pomiculteur. Les coûts liés à la synthèse de nouveaux pesticides étant très élevés, les prix de ces produits deviendront plus dispendieux et donc moins attrayants. L'utilisation de données météorologiques permet au pomiculteur de déterminer les applications de fongicides. Par conséquent si les conditions climatiques ne favorisent pas le développement d'infections de tavelure, plusieurs pulvérisations qui auraient été appliquées en lutte préventive peuvent être évitées. La réduction des dépenses encourues grâce à la lutte curative justifie rapidement l'achat de matériel de mesure.

Pour le Québec, on possède très peu d'information sur les avantages économiques de la lutte intégrée. Cette appréciation se heurte à de nombreuses difficultés. Cependant des études sommaires des coût-bénéfices à l'hectare que réalisent les pomiculteurs du Québec ont pu être réalisées à partir des données recueillies au cours des années par les recherches effectuées dans le cadre du Réseau d'avertissements phytosanitaires du pommier. Elles ont révélé qu'en 1986, les producteurs pratiquant la lutte intégrée réalisaient en moyenne des bénéfices d'environ 260.00$/ha en pesticides seulement par rapport aux pomiculteurs pratiquant la lutte raisonnée. Ceci représentait une économie de 25% en pesticides (Mailloux, 1986). Par ailleurs de 1977 à 1985, les vergers où se pratiquait la lutte intégrée ont reçu en moyenne 20-30% de traitements insecticides de moins que les vergers où la lutte raisonnée était appliquée., le pourcentage de fruits sains à la récolte étant sensiblement le même dans les deux types de lutte (Vincent et Mailloux 1985).

L'importance écologique de la lutte intégrée constitue de plus en plus une raison essentielle de son adoption par les producteurs de pommes. Ses

motivations écologiques sont: principalement le respect des bases écologiques et la diminution des résidus de pesticides. Le pomiculteur est de plus en plus conscient que l'application massive de pesticides de manière intempestive crée un déséquilibre biologique qui cause le développement de la résistance par les ennemis du pommier et diminue de plus en plus l'efficacité des pesticides. Une mauvaise utilisation des pesticides élimine les ennemis naturels, entraînant ainsi l'acroissement des ravageurs secondaires. Par exemple, certains traitements préventifs peuvent avoir des répercussions négatives sur la plupart des espèces d'acariens prédateurs du tétranyque rouge du pommier.

Les consommateurs sont devenus très sensibles à l'utilisation intensive des pesticides et c'est pourquoi ils exigent des fruits de moins en moins traités ou tout au moins exempts de résidus. La peur d'être empoisonnée par des substances toxiques présentes sur les fruits est capable d' engendrer des comportements pouvant aller jusqu'au renoncement d'achats de fruits frais. Actuellement cet aspect écologique est difficilement mesurable en termes économiques, mais il exerce une pression supplémentaire pour inciter le pomiculteur à réduire son utilisation des pesticides.

Conclusion

Les services rendus par l'agrométéorologie depuis une quinzaine d'années dans les vergers sont importants et n'ont pu être décrits que brièvement dans cette présentation. Le calcul des infections de tavelure et la prédiction des stades phénologiques sont deux exemples concrets de l'utilisation des données météorologiques dans l'application de la lutte intégrée. Cependant de nombreux autres travaux de recherches devront être poursuivis pour que cette utilisation soit plus opérationnelle et plus efficace. Les modèles phénoclimatiques actuels devront être améliorés. De plus les pomiculteurs devront être sensibilisés à installer des appareils de mesure dans leur verger pour le contrôle de la tavelure, puisque les données climatiques locales sont plus précises pour la prise de décision de traiter ou non, que celles transmises au niveau régional.

Finalement l'utilisation de l'agrométéorologie dans la mise en pratique de la lutte intégrée peut être très profitable pour les pomiculteurs et les consommateurs car tout en diminuant les coûts de la protection phytosanitaire, elle contribue à réduire les effets négatifs des pesticides sur la santé publique et l'environnement .

Bibliographie

Bostanian, N.J. et Coulombe. 1986. An integrated pest management program for apple orchards in south-western Quebec. Can. Ent. 117: 143-152.

Cinq-Mars, L. Comment on lutte contre la tavelure du pommier. 1952. Agriculture 9(4): 1-7.

Coulombe, L.J. 1984. La répression de la tavelure en post-infection: 113-117,. dans : La phytoprotection des vergers de pommiers au Québec. Bull. Tech. no. 19, Station de recherches de St-Jean-sur-Richelieu, Québec. 203 pp.

Emond, G. 1975. Le réseau d'avertissements phytosanitaires au Québec. Agriculture. 32: 2-6.

Langlois, A. 1985. Evaluation des seuils et constantes thermiques (pommier, carpocapse et mouche de la pomme) fondée sur des observations québécoises pour une application au programme de lutte dirigée. Thèse de maitrise. Université Laval. 114 p.

Langlois, A. et P.A. Dubé. Une stratégie de lutte basée sur des modèles phénoclimatiques.: 85-99, dans: La phytoprotection des vergers de pommiers au Québec. Bull. Tech. No. 19. Station de recherches de St-Jean-sur Richelieu, Qué, 203 p.

Mailloux, M. 1986. Rapport sur les activités du réseau d'avertissements phytosanitaire-pommier 1986. Cahier 1: 33-37.

Mills, W.D. 1944. Efficient use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab. Cornell Agr. Bull. 630.

Paradis, R.O. 1981. Lutte rationnelle contre les ravageurs des pommiers du Québec. Bull. Tech. 16. Station de recherches de St-Jean-sur-Richelieu, 31p.

Roy, M. 1987. La lutte intégrée dans les vergers de pommiers au Québec. Agriculture. 44(2): 14-18.

St-Arnaud, M., L.J. Coulombe, P. Neumann et A. Jacob. Etude de la maturation et de l'éjection des ascospores de *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. en conditions naturelles: 103-111, dans: La phytoprotection des vergers de pommiers au Québec. Bull. Tech. No. 19. Station de recherches de St-Jean-sur Richelieu, Qué, 203 p.

St-Arnaud, M., L.J. Coulombe et A. Jacob. 1985. La maturation et l'éjection des ascospores du Venturia inaequalis à Frelisghburg (Québec) en relation avec la température et la pluie. Phytoprotection 66: 153-161.

Trottier, R. 1980. Early Warning system for apple pest management in Canada. Bull. OEPP 10: 253-257.

Vincent, C. et M. Mailloux. 1985. Impact de la lutte contre les principaux insectes ravageurs du pommier au Québec. Sommaire des conférences. Journée pomicole St-Grégoire. Vol.2 8 pp.

La météo en culture maraîchère

Conférence présentée au

Colloque sur l'agrométéorologie

Auberge des Gouverneurs
Sainte-Foy

1er novembre 1988

par

Pierre Sauriol

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec

L'UTILISATION DE L'AGROMETEOROLOGIE EN CULTURE MARAICHERE

INTRODUCTION

De tout temps, les maraîchers ont scruté le ciel afin de connaître le temps qu'il fera. Au printemps, plusieurs questions se posent: sera-ce un été sec ou humide? Doit-on conserver beaucoup d'eau dans le sol ou dans les ruisseaux? Devrait-on ouvrir ou fermer les barrages? Y aura-t-il beaucoup de vent? L'érosion éolienne sera-t-elle un problème? Quand la chaleur va-t-elle arriver? Quand devrais-je planter sans risque de gel? En été, le producteur veut savoir s'il pleuvra ou s'il fera beau; il veut savoir si le feuillage sera mouillé longtemps. Il veut savoir s'il doit irriguer ou non. Combien d'eau appliquer? Voilà quelques unes des questions qui confrontent les maraîchers. Comment pouvons-nous répondre à ces questions et réduire la zone d'incertitude à laquelle le producteur est confronté?

SOURCES D'INFORMATION

Les sources d'information disponibles aux producteurs maraîchers du sud-ouest de Montréal sont multiples et variées.

- Radiométéo Canada

Environ 150 maraîchers possèdent des récepteurs au sud-ouest de Montréal

- Radiométéo Burlington

Les producteurs situés près de la frontière américaine (Hemmingford, Napierville et Sherrington) préfèrent les prévisions en provenance de Burlington car ils considèrent que la présence du lac Champlain et des collines environnantes change le micro-climat.

- Répondeur téléphonique du Bureau de Renseignements Agricoles de Saint-Rémi où la prévision météo est enrichie de recommandations phytosanitaires locales.

- Bulletins de météo régulier à la radio ou à la télévision.

BESOINS DES MARAICHERS

Les maraîchers ont des besoins de base similaires à ceux des autres producteurs agricoles. Ils ont aussi des besoins plus spécifiques compte tenu de leur spécialisation. Cet exposé vise à illustrer certains de ces besoins.

1- Température

Les maraîchers ont, de tout temps, essayé de forcer la nature afin de hâter la plantation au printemps et ainsi, devancer la récolte. Pour ce faire, ils utilisent une foule de moyens physiques comme les serres, les tunnels, les mini-tunnels: ces dernières années, l'utilisation de couvertures protectrices appelées bâches permettent de couvrir des champs entiers

et de les protéger contre de légères gelées au printemps. L'utilisation de paillis au sol est un autre moyen de hâter la récolte. Au printemps, l'irrigation est un moyen de contrer un gel léger. L'apport d'eau avant le gel augmente la quantité de chaleur retenue dans le sol. Lors de l'abaissement de température, une partie de cette chaleur sera libérée et sera peut-être suffisante pour éviter le gel. Les producteurs doivent cependant connaître les risques de gel assez à l'avance pour irriguer le sol et augmenter sa réserve de chaleur. Ils peuvent aussi irriguer la culture durant le gel. Il faut donc que le système d'irrigation soit prêt à opérer.

Les maraîchers ont besoin de connaître les températures minimales au printemps car plusieurs jours de suite à de basses températures incitent la montée à la graine du céleri.

Les maraîchers pourraient tirer avantage à utiliser les degrés-jours de croissance pour répartir leurs semis et ainsi régulariser la récolte de plusieurs légumes; il serait ainsi possible d'éviter l'engorgement du marché à cause de mauvaises cédules de semis et de l'accumulation trop rapide des degrés-jours. Cela serait probablement possible pour les semis ou les plantations de laitue, de céleri, de brocoli, de chou-fleur, de radis; les conserveurs utilisent déjà ce système pour les haricots, le maïs sucré et les pois. Plusieurs producteurs de haricots et de maïs sucré destinés au marché frais pourraient utiliser ces données. Les degrés-jours nécessaires à la croissance de tous les légumes ne sont pas tous disponibles.

2- Précipitations

Les prévisions actuelles donnent les probabilités de précipitations. Il serait important de connaître si la pluie annoncée sera violente ou non. Cela permettrait de décider de l'opportunité d'appliquer un insecticide qui sera peut-être délavé. Combien de temps durera la pluie? Combien de temps le feuillage sera-t-il mouillé? Comme nous le verrons plus loin, ce peut être très important pour décider de l'opportunité d'un traitement fongicide. Quel sera l'indice d'asséchement par la suite? Plus les prévisions relatives à la pluie seront précises, moins il y aura de traitements de produits antiparasitaires appliqués inutilement.

3- Vent

La vitesse et la direction des vents est déjà fournie par le système actuel. Souvent cependant, le producteur veut savoir l'heure de levée ou de tombée du vent; il pourrait ainsi planifier l'irrigation afin de réduire les dérives, accroître l'uniformité de la distribution d'eau sur le terrain et réduire les pertes par évaporation. De même, cette connaissance aiderait les producteurs à planifier les applications de pesticides et à les faire au moment où la dérive ou l'évaporation sont réduites au minimum.

La vitesse et la direction des vents déjà fournie est un outil qui pourrait être utilisé plus judicieusement parfois pour préparer le terrain de façon à le rendre moins érodable ou à placer un système d'irrigation de façon à contrer le vent.

4- Irrigation

Les producteurs utilisent de plus en plus l'irrigation de façon à assurer aux plantes leurs besoins en eau durant leur croissance. Aussi, l'eau devient rapidement une ressource rare qu'il faudra mieux gérer.

Cela implique une meilleure connaissance des principes d'irrigation et de gestion de l'eau. Cela implique aussi la mise au point de logiciel d'irrigation adapté aux diverses cultures maraîchères et aux principaux types de sols maraîchers. Ces logiciels existent déjà pour la pomme de terre au Québec. En Angleterre, de tels logiciels existent pour plusieurs espèces de légumes. Ces logiciels permettent de prévoir un peu à l'avance les besoins d'irrigation; ils permettent de savoir combien d'eau appliquer. Actuellement, il arrive souvent que le producteur en applique trop pour être sûr qu'il en a assez. Il gaspille la réserve qui est souvent insuffisante. Durant ce temps, un autre champ a besoin d'eau et il ne peut satisfaire ce besoin.

Souvent, le producteur écoute les prévisions de pluie pour décider s'il doit irriguer. Souvent, des probabilités de précipitations élevées ne sont pas suivies d'averses. Le producteur a attendu pour irriguer... les plantes sont stressées... Lorsque le producteur irrigue enfin, un orage vient parfois compléter le tout et démontrer qu'il a irrigué inutilement. Il faudra encore vivre avec ce problème un bon moment; il faut évidemment tendre à le réduire.

5- Prévisions phytosanitaires

La nouvelle loi qui régit l'utilisation des pesticides vise à susciter une utilisation rationnelle des pesticides; elle vise à protéger la santé des utilisateurs, des travailleurs agricoles et des consommateurs; elle vise à protéger l'environnement. Elle veut favoriser l'implantation de réseaux de dépistage des ravageurs en agriculture.

Ces réseaux se doivent d'être rentables pour le producteur à défaut de quoi ils seront abandonnés; la rentabilité de ces réseaux dépend évidemment de plusieurs facteurs dont l'économie de pesticides n'est pas le moindre. La fiabilité des recommandations est un facteur déterminant. Le producteur ne veut pas risquer sa récolte car il sent sa récolte menacée à chaque jour par un ravageur quelconque. La présence d'un dépisteur qui peut l'assurer qu'il n'a pas de traitements pesticides à faire le rassure. Les dépisteurs et leurs superviseurs ont besoin de sources fiables. Ces sources multiples sont:

a) l'utilisation des recommandations des réseaux d'avertissements phytosanitaires.
b) la mise au point de modèles mathématiques qui permettront de prévoir la venue des ravageurs.
c) les études épidémiologiques de plusieurs maladies foliaires des légumes couplées avec des logiciels simples intégrés à des stations enregistreuses de la météo. Ces logiciels permettent de connaître si tous les paramètres nécessaires à une infection ou à l'émission de spores, sont

réunis; ces logiciels permettent de prendre des décisions éclairées quant à l'opportunité de traiter ou non un champ.

Il s'agit vraiment d'utiliser des connaissances en phytopathologie et de les coller à l'agrométéorologie. Il faut parfois les heures de mouillures, les point de rosée, les températures minimales, maximales, et moyennes. Il faut parfois l'humidité relative; ce sont des données disponibles la plupart du temps. Il ne suffit que de les accoler aux conditions nécessaires à l'apparition d'un pathogène précis ou d'un ravageur donné. Un logiciel peut faire ce travail.

Il existe plusieurs types d'appareils d'enregistrements de données agrométéorologiques:

i- Le "Predictor": cet appareil est utilisé par quatre producteurs d'oignons. Il indique si les conditions climatiques sont favorables au mildiou et si elles sont favorables à l'émission de spores de "Botrytis". C'est un appareil utile qui enregistre les températures minimales, maximales et calcule des moyennes; il enregistre la pluviométrie. Il ne fournit pas le nombre d'heures de mouillure, c'est à dire le nombre d'heures où le feuillage est mouillé: ce critère est important car les spores de plusieurs pathogènes ont besoin d'eau libre ou de feuillage mouillé pour pouvoir infecter la feuille. Cette période de mouillure doit durer un certain nombre d'heures variables selon le pathogène. Il existe d'ailleurs plusieurs types de lecteurs de mouillure: il s'agit de plaques avec des circuits imprimés non reliés entre eux; la présence d'eau sur la surface de la plaque permet le passage d'un courant électrique; ce dernier est interrompu dès que le feuillage est sec. Voici un exemple d'utilisation d'un tel appareil:

- l'appareil peut indiquer qu'il n'y a pas eu de sporulation; il est donc inutile de traiter avec un fongicide. C'est un premier indice.

- l'appareil pourrait indiquer qu'il n'y a pas eu de période de mouillure suffisante pour causer une infection. C'est un deuxième indice. Muni d'une telle information, le producteur sait qu'il n'a pas besoin de traiter.

- l'appareil peut indiquer qu'il y a eu mouillure suffisante sans sporulation préalable; il ne recommandera pas de traitement. Il restera toujours place à l'utilisation du jugement et des connaissances du producteur.

- l'appareil peut indiquer qu'il y a eu sporulation suivie d'une période de mouillure suffisante. L'appareil recommande donc de traiter.

ii- L'"Agriscribe" est un appareil similaire. Il fournit la température à chaque heure de même que les minimum, maximum, moyenne, etc. Il fournit l'humidité relative à chaque heure, la pluie à chaque heure, etc. Il fournit la mouillure des feuilles à toutes les 15 minutes; il peut ainsi calculer le nombre d'heures totales de mouillure du feuillage: ce critère est très important pour plusieurs maladies.

iii- Le "Botcast" est un appareil similaire mis au point au Michigan pour prédire l'arrivée d'une maladie foliaire de l'oignon appelée "Botrytis".

iv- Le "Datalogger" est un appareil très versatile qui peut enregistrer presque toutes les données que l'on désire; il faut cependant posséder un ordinateur pour traiter ces données au moyen d'un logiciel. Ce n'est donc pas à la portée de tous pour le moment; cet appareil pourra cependant enregistrer les données qu'il faudra recueillir pour opérer les logiciels d'irrigation dont il a été question précédemment.

AUTRES BESOINS

Tous les appareils actuellement en service ont évidemment des qualités et des défauts. Leur logiciel sont trop limitatifs; il serait facile de tirer beaucoup plus d'informations à partir des données recueillies. Les logiciels ne le permettent pas; ils ont été conçus ailleurs; ils pourraient être modifiés pour répondre à nos besoins. Il nous faut donc des phytopathologistes météorologues pour faire ce travail.

1- Enregistrement des unités thermiques

Ces appareils d'enregistrements de données météorologiques additionnent des degrés-jours ou unités thermiques. Il suffit de déterminer la base nécessaire. Aussi, l'arrivée de plusieurs insectes se produit toujours à un nombre assez précis de degrés-jours; cette connaissance permet de préciser localement la date des traitements à faire. Il suffit que l'appareil du producteur soit programmé en conséquence. Ces appareils pourraient ainsi aviser le producteur de l'arrivée imminente de la mouche de l'oignon, de mouche de la carotte, de la mouche des crucifères, de la pyrale du maïs, etc.

La floraison de plusieurs espèces de plantes non cultivées peut être reliée à l'arrivée d'un ravageur; c'est un complément aux unités thermiques; ainsi, la floraison de la barbarée coïncide avec l'arrivée de la mouche de l'oignon. Celui qui ne possède pas de station météo peut utiliser ces données pourvu qu'elles soient connues et vulgarisées. Il deviendra évident qu'un printemps tardif, donc plus froid, retarde la floraison de la barbarée de quelques jours (car les unités thermiques s'accumulent moins vite); la mouche de l'oignon sera retardée d'autant; il en sera de même pour les traitements insecticides.

2- Moments propices aux traitements

Souvent, le producteur effectue des traitements qui sont peu efficaces parce qu'effectués au mauvais moment. Un article de la Terre de Chez Nous du 14 juillet 1988, rapportait que les scientifiques du Connecticut font des recherches afin de prévoir les moments les plus propices pour effectuer des arrosages et ce, avec des quantités minimes. Il est urgent de mieux connaître les conditions d'efficacité pour réduire les arrosages inutiles. La connaissance de l'heure de tombée du vent ou de levée du

vent serait déjà un outil utile comme je l'ai indiqué plus tôt.

CONCLUSIONS

Une énumération des besoins des maraichers et de leurs sources d'information démontre que les services actuels d'agrométéorologie répondent assez bien à ces besoins; quelques additions mineures suffisent. Par contre, il devient évident qu'il faudra investir au niveau de la recherche pour mettre au point les logiciels nécessaires à une gestion rationnelle des pesticides ou des ravageurs. Ces outils nécessaires au producteur dans sa gestion de production à la ferme sont indispensables du point de vue technique et psychologique.

Parler de gestion rationnelle des pesticides ou des ravageurs est très facile pour celui qui n'a pas de récolte menacée! Le producteur qui ignore ce qui se passe dans son champ peut aller voir; il n'est pas absolument sûr de tout voir... Aussi, la réaction la plus fréquente est d'appliquer un pesticide préventif... Lors de la réception d'un avis phytosanitaire provincial ou régional qui l'avise que la maladie peut maintenant être présente, il applique un fongicide préventif. Un appareil sur sa ferme lui dirait peut-être de n'en rien faire. Ces appareils fournissent donc aux producteurs une information précise au niveau de sa ferme. Il est plus sûr de sa décision; il se sent plus rassuré. Il devient rationnel. Le dépistage répond en partie à ce besoin; l'utilisation d'appareils de prévisions accroît le degré de fiabilité des recommandations du réseau de dépistage. Le producteur est donc plus porté à les suivre. L'oubli du cheminement psychologique du producteur qui sent sa récolte, donc son revenu, sa source de bien-être physique menacée, voue à l'échec les tentatives de réduction des traitements.

Il est donc urgent de compléter les études de plusieurs pathogènes ou de plusieurs insectes et de les coupler à des données climatologiques de façon à raffiner nos approches phytosanitaires et ainsi accroître la fiabilité de nos recommandations. Seules des recommandations simples, régionalisées, voire locales, vont permettre au producteur de s'y fier. Seule des stations de météo sur la ferme couplées à des logiciels peuvent nous permettre d'y arriver. Ces même stations pourront permettre d'utiliser les logiciels d'irrigation qui auront été mis au point!

De plus en plus de producteurs possèdent un ordinateur; beaucoup d'autres sont prêts à en acheter pour améliorer leur gestion financière; l'utilisation de cet appareil à des fins de gestion de la production tels que le calcul des dates de semis ou de plantation à partir des degrés-jours ou des unités thermiques, tel que l'irrigation, tel que l'application de traitements antiparasitaires seront des motivations supplémentaires. Il incombe donc à des chercheurs de préparer des logiciels appropriés, de déterminer ces critères de gestion de la production; ils ne sont pas disponibles dans la plupart des cas que ce soit pour les degrés-jours, l'irrigation ou les contrôles des ravageurs.

Les producteurs et les vulgarisateurs ont des besoins de formation

en agrométéorologie. Il nous faut comprendre le langage, la signification des prévisions, etc; il nous faut pouvoir interpréter et adapter localement la prévision. Il nous faut apprendre "à lire les nuages". Le dossier sur l'agrométéorologie paru dans "La Terre de Chez-nous" en mai 88 et ce colloque, répondent à ce besoin de formation.

Saint-Rémi, le ler septembre 1988 Pierre Sauriol, agronome

En cas de non-livraison — Port de retour garanti

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE,
DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION
DU QUÉBEC
200-A, CHEMIN SAINTE-FOY
QUÉBEC (QUÉBEC)
G1R 4X6

Canada Post Postage paid / Postes Canada Port payé
Third class / Troisième classe
Permis No. 3468
Québec, Qué.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
88-0166

IMPRIMÉ AU QUÉBEC, Canada